

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobných strojov a konštruovaní

**Technická diagnostika finálneho  
zariadenia valcovacích stolíc  
kontidrôtovej trate**

Final equipment technical diagnostics of  
rolling stands of wire rod mill

Student:	Zdenko Stul'ák
Osobní číslo:	STU0143
Vedúci bakalárskej práce:	Ing. David Šeděnka

Ostrava 2020

## **Zadání bakalářské práce**

Student:

**Zdenko Stul'ák**

Studijní program:

**B2341 Strojírenství**

Studijní obor:

**2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování**

Téma:

**Technická diagnostika finálního zařízení válcovacích stolic kontidrátové  
tratě  
Final Equipment Technical Diagnostics of Rolling Stands of Wire Rod  
Mill**

Jazyk vypracování:

**čeština**

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce se zabývejte problematikou technické diagnostiky zařízení válcovacích stolic kontidrátové tratě. Rozeberte tuto problematiku, navrhněte a zvažte vhodné metody pro sledování jejich technického stavu. Popište přístrojovou techniku a softwarové nastavení pro tuto aplikaci. Proveďte potřebná měření a vyhodnocení naměřených dat.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Rozsah práce min. 35 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s.,

ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnosticke systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

FS\_SME\_05\_003 *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce* Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2018. 20 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Šeděnka**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Pan  
Zdenko Stulák  
nar. 18. 6. 1978  
Jurečkova 12  
703 00 Ostrava

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
všeobecná  
Č. j.: VSB/20/004970

datum: 17. 2. 2020

vyřizuje: Ivana Sikorová DiS., tel.: 597 324 122, email: ivana.sikorova@vsb.cz

### Povolení vypracovat bakalářskou práci ve slovenském jazyce

Na základě Vaší žádosti ze dne 17. 2. 2020 Vám povoluji vypracovat Vaši bakalářskou práci ve slovenském jazyce.

S pozdravem

VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
Fakulta strojní  
17. listopadu 21/2/15  
703 00 Ostrava-Poruba -6-

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan Fakulty strojní

### **Miestoprísahažné vyhlásenie študenta**

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane prílohy vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V práci som použil interné údaje diagnostických dát a meraní zo zariadenia štvorbloku od firmy Liberty Ostrava a.s., firma s ich zverejnením súhlasí.

V Ostrave 18. mája 2020



.....  
Podpis študenta

## Prehlasujem, že

- Som bol zoznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, najmä § 35- použitia diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitia školského diela a § 60 – školské dielo.
- Beriem na vedomie, že Vysoká škola banská– Technická univerzita Ostrava (ďalej iba „VŠB-TUO“) má právo nezárobkové k svojej vnútornej potrebe bakalársku prácu použiť (§ 35 odst. 3)
- Súhlasím s tým, že bakalárska práca bude v elektronickej podobe uložená v Ústrednej knižnici VŠV-TUO k nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho bakalárskej práce. Súhlasím s tým, že údaje o kvalifikačnej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- Bolo dojednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z ich strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením užitia diela v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bolo zjednané, že užiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžu len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorení diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- Beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím s jej zverejnením podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.
- Všetky materiály uvedené v bakalárskej práci vrátane príloh a fotografií boli zverejnené so súhlasom Liberty Ostrava a.s.

V Ostrave 18. mája 2020



.....  
Podpis študenta

### **Pod'akovanie**

Je mojou povinnosťou pod'akovať všetkým, ktorí sa i v malej miere podieľali či už radami alebo komentármi na mojej práci. Veľké ďakujem patrí Ing. Tomášovi Kubinovi Ph. D. za dôrazné vedenie a podnetné nápady pri spracovaní bakalárskej práce. Tiež by som sa chcel pod'akovať svojmu vedúcemu Ing. Davidovi Šedenkovi za trpezlivosť a v neposlednom rade svojim priateľom a rodine za podporu.

## ANOTACE BAKALÁRSKE PRÁCE

STULÁK, Zdenko. *Technická diagnostika finálneho zariadenia valcovacích stolíc kontidrôtovej trate*. Ostrava. Bakalárska práca. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobných strojov a konštruování, 2020, 45 s. Vedúci práce. Ing. David Šeděnka.

Tato bakalárska práca sa primárne venuje diagnostike a meraniu vibrácii na valcovní drôtu kontidrôtovej trate. Účelom tohto merania by malo byť zníženiu počtu porúch na danom zariadení.

V bakalárskej práci je popísané diagnostikovanie a prediktívna údržba na zariadení kde je navrhnuté umiestnenie snímačov pre meranie vibrácii, popis ako to bude prebiehať a vyhodnocovanie nameraných dát do jednoduchšej formy vyhodnotenia.

Cieľom tejto bakalárskej práce sú vyhodnotenia, ktoré z tohto diagnostického merania pomôžu znížiť poruchy na zariadení i ekonomické dôsledky. Taktiež zníženie nákladov na údržbu.

Kľúčové slova: vibrodiagnostický systém; finálne zariadenie; vibrodiagnostika; trendovanie; kontidrôtová trať

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

STULÁK, Zdenko. *Final equipment technical diagnostics of rolling stands of wire rod mill*. Ostrava. Bachelor thesis. VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design. 2020, 45 s. Supervisor. Ing. David Šeděnka.

This bachelor thesis is primarily devoted to diagnostics and measurement of vibrations on wire rod rolling mills. The purpose of this measurement should be to reduce equipment failures.

The bachelor's thesis describes diagnostics and predictive maintenance of the device where the location of sensors for vibration measurement is proposed and describes how it will take place and evaluate the measured data into a simple form of evaluation.

The aim of this bachelor thesis is to evaluate which, from this diagnostic measurement, will help reduce equipment failures and economic consequences. Also, to reduce maintenance costs.

Key words: vibrodiagnostic system; final equipment; vibrodiagnostics; trending; continuous wire track



## Obsah

Úvod .....	1
1 Kontidrôtová trať ako súčasť hutného komplexu .....	2
1.1 História spoločnosti.....	2
1.2 Firma Liberty Ostrava .....	3
2 Kontidrôtová valcovňa a charakteristika kontidrôtovej trate.....	6
2.1 Zariadenie štvorbloku .....	7
2.2 Problematiku a poruchy zariadenia štvorbloku .....	10
3 Ideový technický návrh riešenia danej problematiky .....	13
3.1 Technická diagnostika a jej možnosti.....	13
3.2 Vibrodiagnostika .....	14
3.2.1 Frekvenčná analýza pomocou FFT.....	15
3.2.2 Merané veličiny .....	16
3.2.3 Celková mohutnosť kmitania (trendovanie vibrácií) .....	19
3.2.4 Alternatívne metódy a metódy na meranie technického stavu valivých ložísk .....	21
4 Technický návrh diagnostiky pre zariadenie štvorbloku .....	24
4.1 Technické riešenie a zadanie technickej špecifikácie .....	24
4.1.1 Pozícia meraného zariadenia na valcovní drôtu pre meranie vibrácií .....	24
4.1.2 Technický návrh riešenie merania vibrácií a rozsah merania .....	25
4.1.3 Parametre merania.....	26
4.2 Špecifikácia hardwarového riešenia .....	26
4.3 Technické riešenie diagnostiky štvorbloku .....	30
5 Namerané dáta a ich vyhodnotenie.....	33
5.1 Prvotné meranie pre odhad trendov .....	33
5.2 Rozbor spektra frekvencie .....	35
5.3 Popis vyhodnotenia poruchy, vplyv drôtu, materiálu a rýchlosti na zariadenie.....	37
5.4 Popis poruchy, ktorú sme predikovali s pomocou diagnostiky.....	39
6 Záver.....	40
Zoznam obrázkov.....	43
Zoznam príloh.....	45

## **Zoznam použitých skratiek**

LO	Liberty Ostrava
NHKG	Nová Huť Klementa Gottwalda
ZPO	Konti liatie
HCC	Valcovňa hrubých valcovaných profilov L,H,U,I
P-250	Pásová valcovňa 250 mm
P-800	Pásová valcovňa 800 mm
TÜV NORD	Audítorská spoločnosť
RS	Riadiaci systém
PLP	Plynule liaty predliatok
PI SYSTEM	Interný dátový a vyhodnocovací systém.
LKT	Klzné ložisko používané v jednotkách

# Úvod

V dnešnej dobe moderných zariadení na valcovniach sa stále viac príkladná dôležitosť na prediktívnu údržbu a tým pádom monitorovanie zariadení. Vplyvom toho sa spoločnosti začínajú zaujímať nielen o ekonomickú stránku údržby, ale tiež o ich činnosť, pretože niekedy správna údržba dokáže znížiť celkove náklady na prevádzkovanie a údržbu zariadenia.

Vibrodiagnostika nesporne patri medzi hlavné disciplíny modernej diagnostiky. Sledovanie stavu vibrácii dokážeme pomocou prístrojov rozpoznať ako prebiehajúce poruchy, tak môžeme odhaliť začínajúce poruchy a vďaka tomu ich môžeme eliminovať, alebo zastaviť ich rozšíreniu.

Na tomto projekte som spolupracoval s firmou SKF CZ, a.s., Ostrava, ktorá po našom návrhu začala skúšobne sledovať a diagnostikovať zariadenie štvorbloku na valcovni drôtu. Vo svojej práci ukazujem praktickú stránku navrhovanie meraní vibrácii na zariadení štvorbloku, kde ešte nie je plne rozvinutý systém prediktívnej údržby. Počas 3 mesačnej skúšobnej diagnostiky potrebujeme zistiť či aplikovaním diagnostického systému na zariadenie budeme môcť predísť poruche na zariadení a predĺžiť životnosť agregátu. Potrebujeme znížiť poruchovosť, opotrebenie náhradných dielov a tým pádom zvýšiť ekonomickú úsporu. Ak by sa nám projekt osvedčil, tak diagnostiku na štvorbloku budeme aplikovať na ďalšie dva roky a postupne rozširovať na ďalšie zariadenia.

# 1 Kontidrôtová trať ako súčasť hutného komplexu

Pre lepšiu orientáciu vo vývoji celej hutnej spoločnosti, zmenách jej názvov (hlavne po roku 1989) a začlenenie trate v rámci spoločnosti, budú v tejto kapitole uvedené základné informácie z tejto oblasti.

## 1.1 História spoločnosti

V roku 1942 sa začala písať história súčasne najväčšie hutnej spoločnosti Českej republiky. Vtedy Vítkovické železiarne, v dôsledku obmedzeného rozvoja vzhľadom k umiestneniu v meste, sa začalo s výstavbou južného závodu v Kunčiciach [1].

- **31. decembra 1951** – došlo k vzniku Novej Huti Klementa Gottwalda (NHKG), národný podnik.
- **1951-1958** – prvá etapa existujúceho podniku. Cely kombinát tvorilo päť koksárenských batérií, dve vysoké pece vrátane liaceho stroja, štyri siemens-martinské a päť hlbinné pece, blokovňa, valcovňa potrubia, zlievareň šedej liatiny a časť elektrární vrátane vodného hospodárstva.
- **1958-1961** – v ďalšej etape sa vzájomne rozširovali kapacity pre produkciu základných surovín ako sú koks, surové železo a oceľ, ale tiež sa stavali prevádzky s následným spracovaním týchto produktov. Taktiež bola v tomto období spustená valcovacia trať a linka na výrobu osobných, nákladných a traktorových kolies. Počet koksárenských batérií sa navýšil o štyri, pribudli dve vysoké pece a päť sklopných pecí pre výrobu ocele. Bola postavená tiež nová blokovňa, pásové trate P-250 a P-800, kontidrôtová trať, zariadenie na výrobu trubiek, kyslíkárne a iné.
- **1967-1985** – rozsiahle sa modernizovali martinské pece na pece tandemové. Ďalšia väčšia investícia bola výstavba stredojemnej valcovne v južnej časti závodu, centrálna kyslíkárňa a veľkokapacitné koksárenské batérie.
- **1989** – došlo k zmene názvu z NHKG na Nova Huť, štátny podnik. S touto zmenou sa spájajú ďalšie významné technologické udalosti, prechod od odlievania ocele do ingotu k plynulému odlievaniu ocele.
- **1993-1999** – bola postupne pripojené zariadenie pre plynulé odlievanie. Prvý v decembri v roku 1993, druhý o štyri roky neskôr a tretí v auguste 1999. Táto zmena priniesla väčšiu výťažnosť ocele a v podstate nižšiu energetickú náročnosť. Ďalšou významnou udalosťou bola tiež výstavba valcovní na výrobu širokého, za tepla valcovaného pásu, ktorá nahradila dve zastaralé trate a jeho komplex je nazvaný ako pasová minihuť.

- **2003**– koncom januára nastal zlom, keď Laskshmi Mittal, jeho stratégia je založená predovšetkým na reštrukturalizácii a modernizácii oceliarni, kúpil v rámci privatizácie Novu Hut' a zhruba v polovicike apríla vznikla ISPAT Nová Hut', a.s.
- **2004**– koncom roku sa opäť zmenil názov spoločnosti, tentoraz na Mittal Steel Ostrava, a.s. V rámci privatizácie sa z niektorých prevádzok a závodu stali pridružené alebo dcérske podniky, napríklad JÄKL Karviná,a.s., Nová Hut' Zabřeh, a.s. alebo Vysoké pece Ostrava, a.s.
- **2006** – najdiskutovanejšou témou oceliarskeho sveta sa stala snaha Lakshmiho Mittala o prevzatie svetovej dvojky Arcelor. Koncom júna tohto roku oznámila rada Arcelor zlučenie s Mittal Steel a vznikol tak svetový gigant, v dôsledku zmeny a názvu ostravskej spoločnosti je ArcelorMittal Ostrava.
- **2007**– Niektoré spoločnosti, ktoré sa oddelili v roku 2004, sa opäť organizačne pripojili k materskej spoločnosti.
- **2019** - od júla tohto roku sa zmenil nový majiteľ a tiež sa zmenil názov spoločnosti na Liberty Ostrava. Liberty House Group je jedným z hlavných členov GFG Alliance, čo je globálne skúpenie nezávislých spoločností zameraných na prírodné zdroje, výrobu obnoviteľnej energie, výrobu kovu a inžiniering opierajúci sa o vlastné zdroje v oblasti nehnuteľnosti, finančných služieb a vzdelávania. Ročná kapacita výroby tekutej ocele v Liberty House Group je 15 mil. ton, ročný obrat 20 miliárd USD.

## 1.2 Firma Liberty Ostrava

Je najvyššia integrovaná Hut' a najväčší výrobca ocele v Českej republike s ročnou výrobnou kapacitou až 3,6 miliónov ton ocele. V niekoľkých posledných rokoch sa skutočná výroba ustálila na 2,2 miliónoch ton ocele, ktorá sa uplatňuje najmä v stavebníctve, strojárstve. Predstavu o súčasnej štruktúre spoločnosti prehľadne podáva diagram na obrázku v prílohe č.1 prevzaté z [2]. Štruktúra podniku je rozdelená do nasledujúcich výrobných a prevádzkových jednotiek [3].

### Závod 10 – Koksovňa

Závod Koksovňa je najväčší výrobca koksu v Českej republike. Dve koksárenské batérie s pechovanou prevádzkou a veľká priestranná koksárenská batéria s výsypanou prevádzkou ma ročnú produkciu cca 1,2 milióna ton koksu.

V chemickej časti závodu sú vyrábané chemické produkty (surový čiernouhoľný decht, surový koksárensky benzol, koksárensky plyn, kvapalná sira), ktoré sú úspešne expedované na domáci a zahraničný trh.

### **Závod 12 – Vysoké pece**

Závod Vysoké pece disponuje štyrmi vysokými pecami. V súčasnej dobe je pre naplnenú požiadavku odberateľov surového železa dostatočná prevádzka dvoch vysokých pecí s ročnou kapacitou výroby cez 2 milióny ton surového železa.

Mimo výroby surového železa sa aglomerát zameriava k predaju výrobkov z vysokopecnej trosky, a to troskové kamenivo niekoľkých granulometrických druhov vyrábaných väčšinou pre stavebne účely a ďalej vysokopecný granulát pre ďalšie spracovanie v cementárňach a sklárňach.

### **Závod – 13 Oceliaren**

Závod Oceliaren je najväčší výrobca oceli v Českej republike. Oceľ sa vyrába kyslíkovým pochodom v štyroch tandemových peciach s ročnou produkciou cez 3 milióny ton. Po odpichu sa oceľ dohotovuje na cieľové parametre pre liatie na panvové pece. Ďalej sa tekutá oceľ odlieva v sekvenciách na troch zariadeniach ZPO do sochoru, brám či brámiek.

### **Závod 14 – Valcovne**

Závod 14 vyrába a dodáva dlhé a ploché valcované výrobky určené pre stavby a konštrukcie na tuzemsky a zahraničný trh. Hotovné trate prezentujú dve profilové trate , jedna pásová a drôtová trať, ktoré zaisťujú široký sortiment profilu, pásov a drôtu.

- **Valcovacia trať HCC** vyrába strednú a hrubú profilovú oceľ od jednoduchých tyčí až po tvarové profily až po profily špeciálnych prierezov. Táto trať vyrába tiež profily oceľových vystuží z oceľových plechov šírky 130 až 170 mm.
- **Kontidrôtová trať** vyrába oceľový drôt valcovaný za tepla o priemere 5,5 - 14 mm.
- **Stredojemná valcovňa** vyrába široký sortiment za tepla valcovaný dlhých výrobkov – jemnú a stredne profilovú oceľ základných tvarov, tyče pre využitie do betónu v zbierkovom prevedení a U profil do rozmeru 120 mm a niektoré špeciálne profily.
- **Pásová trať P1500** vyrába pás z oceli konštrukčných, konštrukčných so zvýšenou pevnosťou, konštrukčných pre tvárnenie a pre hĺbkové tvárnenie za studena, konštrukčných uhlíkových, konštrukčných nízko legovaných (so zvýšenou odolnosťou proti atmosférickej korózii; elektrotechnické účely), mikro legovaných. V rozmeroch: hrúbka od 1,5 mm do 15 mm, šírka od 740 mm do 1550 mm s hladkým povrchom, alebo s oválnymi výstupkami ( slzičkami).

### **Závod 3 – Údržba**

Závod údržba predstavuje opravárenský a údržbársky komplex, zaisťuje potreby závodu spoločnosti Liberty Ostrava pri údržbe, opravách, modernizáciách výrobného zariadenia a investičnej výstavbe. Zaisťuje povrchové služby a operatívne odstraňovanie porúch v rámci celého Liberty Ostrava. Poskytuje služby závodom a útvaram akciovej spoločnosti, ale tiež partnerom v rámci skupiny Liberty Ostrava, prípadne tuzemským a zahraničným zákazníkom.

### **Závod 5 – Doprava**

Závod Doprava zaisťuje služby v oblasti internej železničnej a cestnej dopravy a prepravy pre jednotlivé organizačné útvary spoločnosti, pre spoločnosti ako celok a pre externé podnikateľské subjekty sídliace v areáli spoločnosti. Závod Doprava sa člení na jeden úsek (Technika), prevádzka koľajovej dopravy a prevádzka cestnej dopravy.

### **Závod 45 – Automatizácia**

Poslaním závodu Automatizácia je správa riadiacich systémov a spolupráca na automatizačných projektoch pre všetky závody v rámci spoločnosti. Závod automatizácie sa skladá z troch hlavných sekcií: prvá sekcia je zodpovedná za RS, ktorá slúži k riadeniu strojov a vybaveniu konkrétnych zariadení. Druhá sekcia sa zaoberá procesným riadením, modelovaním a MES systémami, vďaka ktorým je sledovaná a kontrolovaná produkcia v celom závode. Tretia sekcia mapuje procesy pre projekty závodu 45, prevádza komplexnú analýzu biznis procesu a navrhuje nové procesy.

## 2 Kontidrôtová valcovňa a charakteristika kontidrôtovej trate

Vsádzkový materiál (ďalej len PLP alebo sochory) pre kontidrôtovú valcovňu sú odlievané na ZPO č.3 a majú štvorcový prierez 115 x 115 mm a dĺžku 12 m. Z oceliarni sú PLP prevážané do skladu kontidrôtovej valcovne vagónmi železničnej dopravy. Po príchode do skladu kontidrôtovej valcovacej trate sú PLP popísané číslom tavby. Zo skladu sa sochory navážajú na dávkovací rošt studenej vsádzky a pred nasadením do pece sa vizuálne kontroluje povrch sochorov. Nevyhovujúce sa vyradujú. Do pece sa sochory prepravujú valčekom dopravníkom po jednom kuse, posun materiálu v peci sa prevádza podávacími valcami. Sochory ohriate na tvarovaciú teplotu sú z pece vytlačované cez výhybku, ktorá umožňuje plynulé zavádzanie vytlačených sochorov do jednotlivých žíl trate.

Valcovacia trať je spojitá dvojžilová valcovacia trať s maximálnym počtom redukcí rozvalku v 24 duo stolicách (vrátane dvojstolicových a štvorstolicových blokov). Trať je rozdelená na predvalcovanie, stredne a hotovné poradie a dvojstolicových a štvorstolicových blokov takto:

- predvalcovacie poradie: má 8 stolic označených číslom 0 až 7. Valcuje sa na dve žily,
- stredne poradie: má 6 stolic, označených číslom 8 až 13. Valcuje sa na dve žily,
- hotovné poradie: má 2 samostatne valcovacie poradie po 4 stolicách označených 14 až 17. Valcuje sa jednožilovo. Stolice 14 – 17 majú excentrické orientovanie valcov.

V hotovných poradiach sa pravidelne striedajú vertikálne a horizontálne stolice.

Poradie je označené písmenom A a B.

Dvojstolicové a štvorstolicové bloky sa napájajú na hotovné poradie. Využitie blokov tvoria priaznivejšie podmienky pre kalibráciu k doľahnutiu užších konečných tolerancií drôtu a zvýšenie výstupných rýchlostí na max. cca 65 m/s ( $\varnothing$  5,5mm)

V priebehu valcovania je valcovaný materiál smýčkový medzi 13. a 14. stolicou, medzi koncovými nožnicami, dvojstolicových a štvorstolicových blokov.

Drôt po výstupe z blokov prechádza chladiacou dráhou tvorenou šiestimi sekciami. Na chladiaci vodný úsek nadväzujú podávací valec a rotačná hlava, ktoré vytvárajú zavíanie drôtu. Sú špirálovo ukladané na reťazový dopravník vo vodorovnej (ležiacej) polohe. Pri doprave na reťazovom dopravníku sú jednotlivé závit drôtu ochladzované voľným prúdením vzduchu.

Pri prechode drôt vodnými chladiacimi dráhami a jeho doprave na reťazovom dopravníku je ochladzovaný drôt z dovalcovanej teploty až na teplotu požadovanú pri tvorbe zvitkov v lisovacích staniciach, ktoré nasledujú za reťazovým dopravníkom.



Z lisovacej stanice po zviazaní zvitkov sú dopravované hákovým dopravníkom na Veľkolis SUND k tvorbe zväzkov alebo priamo do skladovacích priestorov [1].

## 2.1 Zariadenie štvorbloku

Vlastný štvorblok sa skladá z motora, prevodovky (zvyšovač rýchlosti) a valcovacích jednotiek, potrubných rozvodov, krytu pre uzatvorenie pracovného priestoru, vid' obrázok 1. Valcovacie jednotky sú v ráme uložené za sebou a sú pootočené o 45 stupňov od vodorovnej osi a medzi sebou sú potočené o 90 stupňov. Prvá a tretia jednotka je hôrna, druhá a štvrtá jednotka je spodná. Hlavný elektromotor je umiestnený, vzhľadom k smeru valcovaniu na konci zariadenia. Pre správnu funkčnosť celého zariadenia je daná valcovacia armatúra (pre napichnutie drôtu a jeho správne vedenie medzi jednotkami) a lapač porúch pre prípad havárie.



*Obrázok 1: Pohľad na zariadenie štvorbloku z prednej strany.[Zdroj: autor]*



*Obrázok 2: Pohľad na zariadenie štvorbloku zo zadnej strany. [Zdroj: autor]*

Valcovací blok má pohon jednosmerného regulačného motoru cez prevodovku, ktorá rozdeľuje krútiaci moment na 2 zubové vretená umiestnené nad sebou a slúžiace pre pohon horných a dolných valcovacích jednotiek. Pohľad na zariadenie zo zadnej strany vid' obrázok 2. Valcovacie jednotky sú zabudované vo vlastnom zvarenom ráme. Sú celkom štyri. Prvá a tretia valcovacia jednotka (v smere valcovania) sú od vodorovnej osi vychýlené o 45 stupňov nahor. Druhá a štvrtá valcovacia jednotka je spodná a ich vychýlenie od valcovacej osi je o 45 stupňov dole.

Pre bezpečné prevádzkovanie slúži otočný kryt uzatvárajúci pracovný priestor. Kryt je poháňaný cez elektromotor, spojku, kužeľovú prevodovku a reťazový pohon. Pre správnu funkciu krytu slúžia koncové spínače a bezpečnostný uzáver. Pre správnu funkciu celého zariadenia sú do jednotlivých exponovaných miest privedené pracovné médiá. Jedná sa o vodu, olej a olejovú hmlu.

Valcovací blok je spolu s prevodovou skriňou ukotvený na kotviacom ráme, ktorý je sčasti zaliaty v základe. Pohon valcovacieho bloku (motor) je ukotvený na vlastnom ráme. Vzhľadom k tomu, že je valcovací blok ukotvený pod úrovňou okolitej podlahy, je celé zariadenie pokryté technickým roštom.

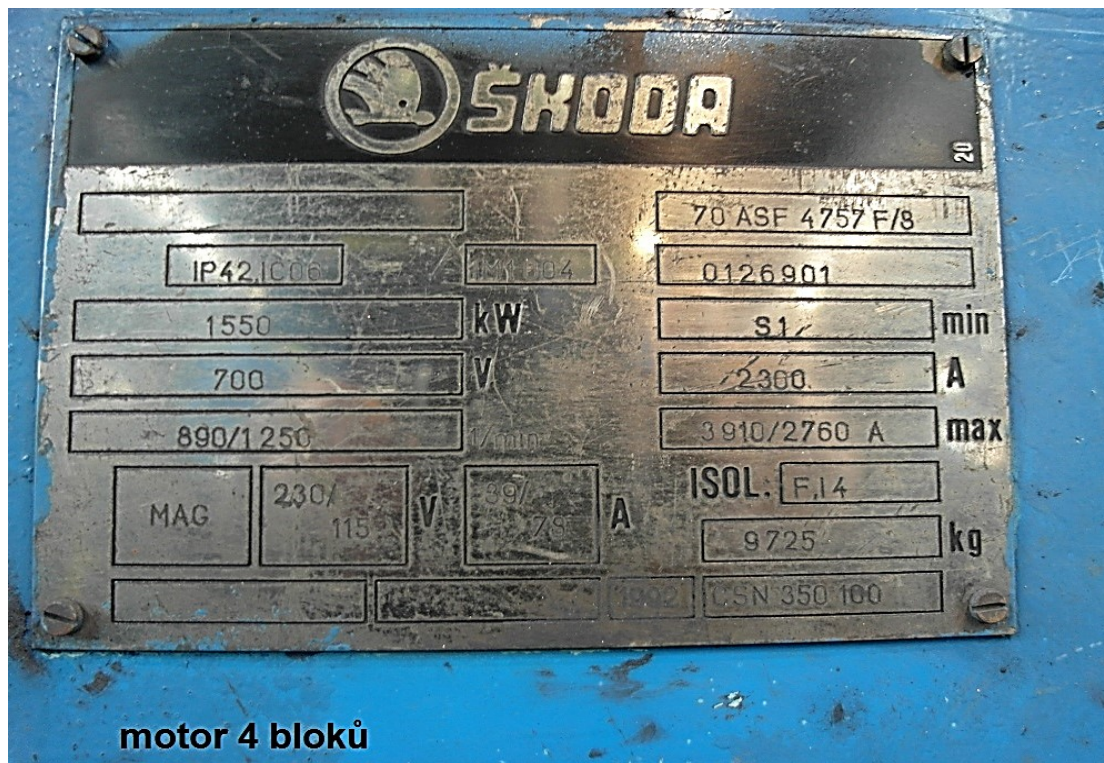


## Hlavný pohon bloku

Zariadenie pozostáva z regulačného jednosmerného motoru, vid' obrázok 3, ktorý je pripevnený na základovú dosku. Na výstupnom konci hriadeľa motoru a na základovej doske je uchytené čidlo RETA3. Na obrázku 4 sú uvedené technické parametre motoru štvorbloku.



Obrázok 3: Pohľad na zariadenie štvorbloku- pohon( motor). [Zdroj: autor]



motor 4 bloků

Obrázok 4: Technické parametre motoru. [Zdroj: autor]

## 2.2 Problematiku a poruchy zariadenia štvorbloku

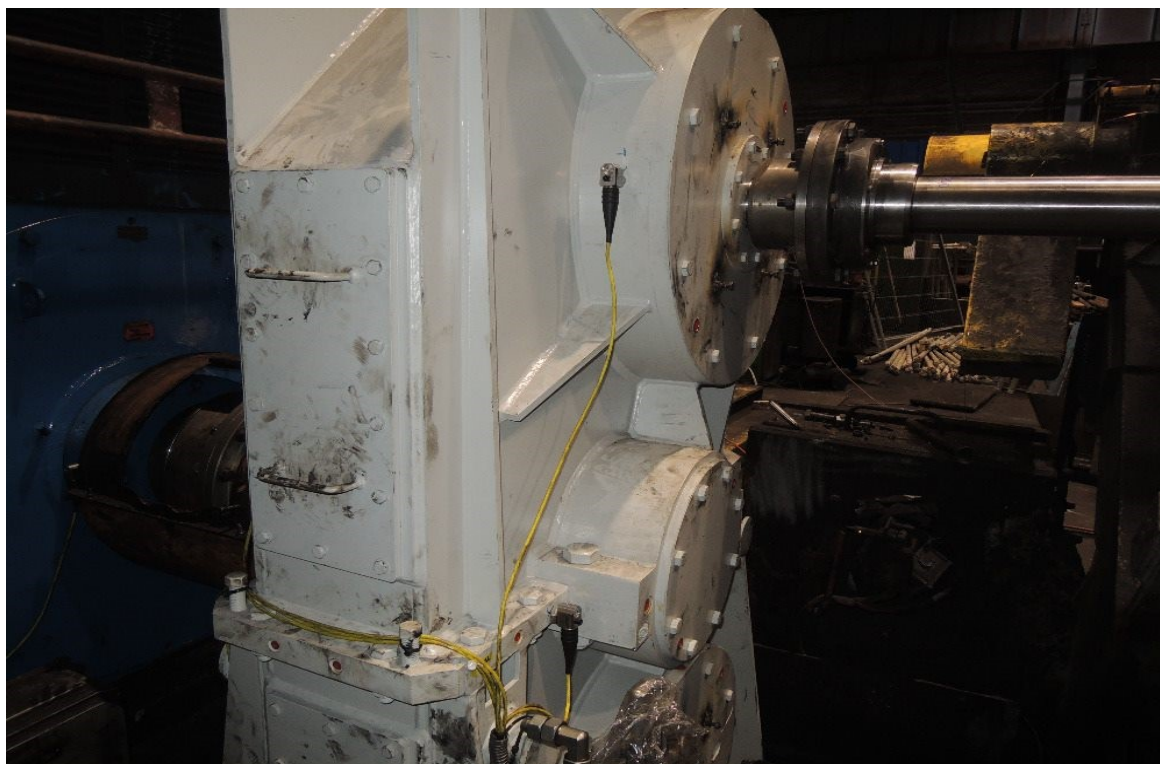
Zariadenie štvorbloku, ktoré slúži pre finálne valcovanie drôtu ako aj iné účely má svoje nedostatky a poruchy. Okrem zariadenia je pri činnosti tiež namáhané aj príslušenstvo, ktoré patrí k stroju. Je súčasťou sú pracovné valce so spotrebným materiálom. Pracovné valce sa menia podľa valcovaného produktu a pri valcovaní vznikajú na výstupnom hriadeli radiálne a axiálne razy. Keď sú medzery na pracovných valcoch nesprávne nastavené a nedodrížiava sa kalibračný list, sú veľmi namáhané klzné a valivé ložiská. Na valcovacích jednotkách (prevodovkách) sú od pohonu uložené v skrini prevodovky spolu s hriadeľmi s ozubenými kolesami a viacerými druhmi ložísk.

### **Motor**

Na hriadeli motoru sú umiestnené tri ložiská a to dve pre radiálny smer otáčania a jedno pre axiálny smer otáčania. Ložisko NU 238 C3 ZKL, ktoré umožňuje axiálny posun rotoru pri zmene teploty je dosť náročné na údržbu a musí sa dodržiavať mazací plán. Najčastejšie poruchy ložísk vznikajú nedostatočným mazaním a tiež nesúosovosťou uloženia motoru na ráme (uvoľnenie frémy). V prípade zvýšenia porúch pre nedostatočne mazanie je potrebné zvýšiť periódy mazacích cyklov.

### **Prevodovka (rozvodovka)**

U rozvodovky inak nazývaná aj ako zvyšovač rýchlosti je problémom ozubenie a ložiská na vstupnom a výstupnom hriadeli, alebo ložiská uložených v skrini rozvodovky, vid' obrázok 5. Ložiská sa pri zvýšených vibráciách môžu pretočiť na vonkajšom krúžku a v uložení skrini môžu mať veľkú vôľu a tým vzniknú zvýšené vibrácie, ktoré sa budú prejavovať aj ako nesprávne upevnenie rámu alebo ukotvenie rámu na betónovú plochu zariadenia. Mazanie rozvodovky je trénované v pracovnom systéme PI SYSTEM, ktorý používajú v LO na trénovanie a sledovanie databáz pre potreby údržby LO. Tento PI SYSTEM nám signalizuje všetky prietoky a stav zariadenia kde sú nastavené alarmy nízkych hladín a prietokov mazacích agregátov valcovne.



*Obrázok 5: Prevodovka štvorbloku. [Zdroj: autor]*

### **Skriňa valcovacej jednotky**

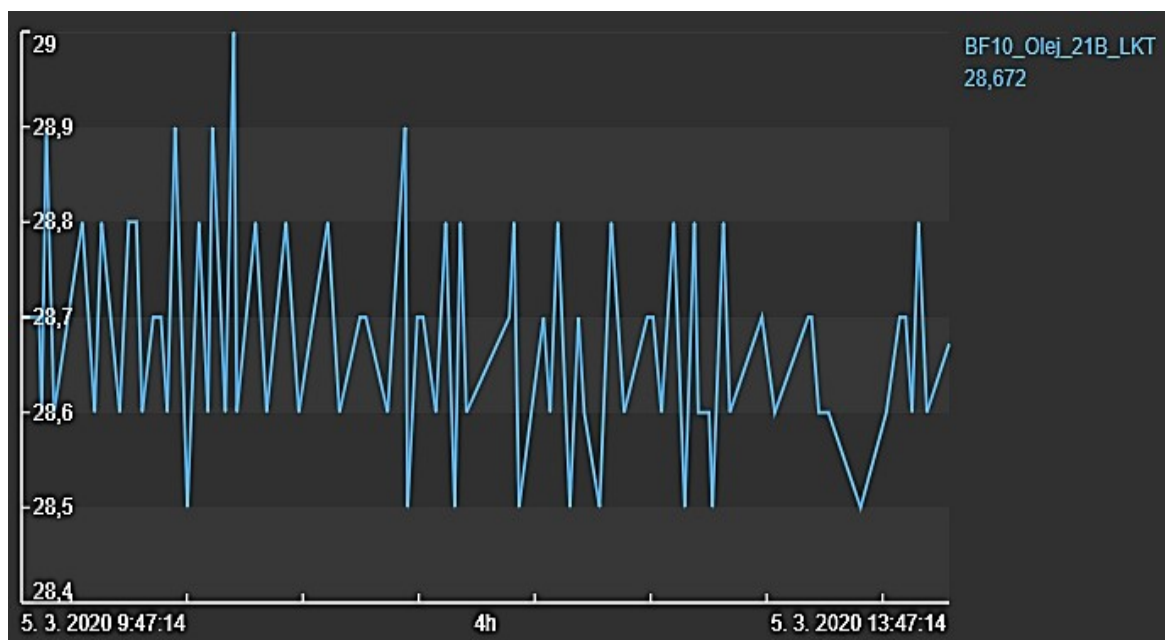
Skriňa jednotky nie je odliatok, ale je to zverenec podľa výkresovej dokumentácie. Na skrini zväčša bývajú problémy s uložením dosadajúcej plochy do rámu a tým sa dosť odchyľuje od valcovacej osi roviny.

V skrini jednotky sú zavrtané diery pre médiá, a to sú napríklad (olej, vzduch) kde sú väčšinou pri opätovnej montáži a demontáži potrubia poškodené pripojovacie závit. V skrini jednotky sú uložené jednotlivé hriadele s ozubenými kolesami, ktoré sú naložiskované. V prílohe číslo 2 je obrázok kinematickej schémy štvorbloku od výrobcu zariadenia [4].

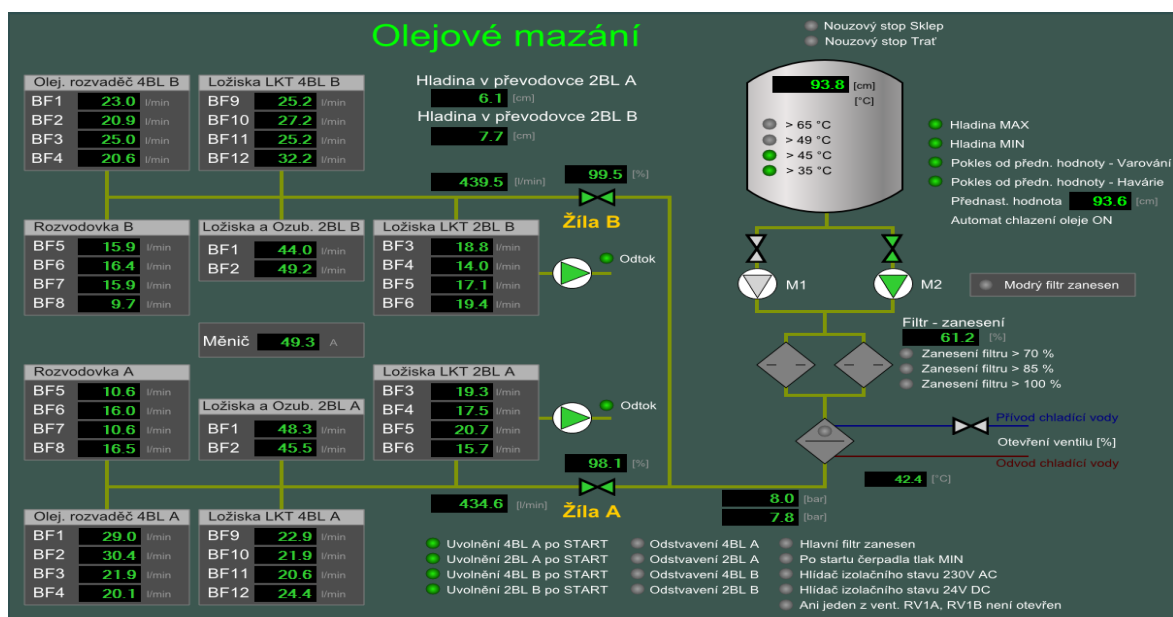
V prípade, že sa poškodí uloženie ložiska, väčšinou sa repasujú všetky uloženia v skrini, ktoré je veľmi náročné a drahé pre tento úkon opravy. Vstupná hriadeľ do jednotky sa nazýva priebežná hriadeľ, ktorá je uložená v ložiskách 32218 SKF a na hriadeľi je párovanie ozubeného kolesa do uloženia  $90^\circ$ . Pastorok, ktorý pokračuje v smere pohonu je uložený na predlohovej hriadeľi a hriadeľ je naložiskovaná na ložiskách NU 219 SKF. Výstupné hriadele tvoria jeden pár a nazývajú sa pastorkové hriadele. Hriadele sú uložené v axiálnom a radiálnom smere, to je, že ložiská 7212 AKE sú uložené v tvare „O“ a klzné ložiská (LKT 90 a LKT 105) unášajú hriadeľ v radiálnom smere otáčania. Mazanie jednotky sa tiež trénuje v PI SYSTEME kde sa sledujú prietoky jednotlivých vetiev. Zoznam prietoku oleja jednou



z trás systému je na obrázku 6. Súhrnný grafický prehľad systému olejového mazania je na obrázku 7.



Obrázok 6: Graf jednotlivých prietokov mazania. [Zdroj: autor]



Obrázok 7: Schéma olejového systému mazania. [Zdroj: autor]

## Zubové spojky a vretena

Spojky a vretena medzi jednotkami slúžia ako pohon k prenosu krútiaceho momentu z rozvodovky na danú jednotku. Používajú sa katalógové zubové spojky od talianskeho výrobcu MAINA. Dodávateľ nám ich dodáva tiež s predĺženými hriadeľmi, ktoré sa inštalujú do stredu spojky a predĺžené hriadele sú na zariadení v troch rôznych dĺžkach. Zubové spojky sa mažu podľa mazacieho plánu, ktorý dodal a vypracoval prevádzkovateľ.

### 3 Ideový technický návrh riešenia danej problematiky

#### 3.1 Technická diagnostika a jej možnosti

Diagnostika je základným nástrojom pre zaist'ovanie údržby. Technická diagnostika alebo vibrodiagnostika značne ovplyvňuje údržbu a to v celom rozsahu svojej pôsobnosti. Čo vlastne znamená, že technická diagnostika je hlavným nástrojom kompletnej inšpekčnej a revíznej diagnostiky (určenie technického stavu a opotrebenia), a taktiež rozhoduje o nutnosti a rozsahu prevedenia opráv (pre odstránenie následkov opotrebenia). Ďalším efektom technickej diagnostiky je hodnotenie dodržiavania zásad správneho prevádzkovania čo patrí k nástrojom a prostriedkom atómovej údržby (znižovanie rýchlosti opotrebenia) [5,6].

Taktiež je hlavným prvkom o základných parametroch ovplyvňujúcich bezpečnosť prevádzky, to znamená že je prostriedkom k znižovaniu rizika vo všeobecnom zmysle. Z pohľadu základného obsahu sa technická diagnostika delí na:

- **Vibrodiagnostika** – Pre diagnostiku technického stavu strojného zariadenia sa najčastejšie využíva vibrodiagnostika, Hlavnou výhodou je jej použitie pre široký rozsah možnosti jej aplikácie na rôznych typoch zariadení. Vibrodiagnostika spracováva a analyzuje vibračný signál (analyzuje a meria rýchlosť, zrýchlenie alebo výchylku vibrácií ), ktorý sa využíva k vyhodnoteniu stavu zariadenia.
- **Tribodiagnostika** – Pre diagnostiku využíva informácie obsiahnuté v mazivu strojných zariadení. Zameriava sa predovšetkým na dve hlavné oblasti: V prvej oblasti analyzuje stupeň degradácie samotného maziva. V druhej oblasti zase z maziva určuje celkové poškodenie respektíve technický stav prevádzkovaného zariadenia [7].
- **Termodiagnostika** – S rozvojom termokamier získavajú termovízne merania stále širšie uplatnenie ako v strojárskom tak aj v automobilovom, stavebnom či hutnom priemysle. Termodiagnostika sa zaoberá meraním a analýzou teploty a teplotných obrazcov, pre vyhodnotenie technického stavu zariadenia, budov a podobne. Pre vytvorenie teplotných obrazcov sa najčastejšie využívajú termokamery. Na meranie teploty sa zase využíva celý rad najrôznejších druhov dotykových teplomerov, prípadne bezdotykové meranie s pomocou infračervených teplomerov.
- **Akustická diagnostika** – Podobne ako vibrodiagnostika aj akustická diagnostika sleduje prejavy porúch na strojnom zariadení pomocou analýzy akustického signálu. Vibrácie strojného zariadenia sú spôsobené pohybujúcimi sa časťami stroja, tie spôsobia pohyb častíc vzduchu a teda dochádza k šíreniu akustického signálu.

Takýto akustický signál sa ďalej meria, analyzuje a vyhodnocuje. Šírenie akustického signálu je často sledované i z hygienicko-technického hľadiska na ľudský organizmus. Za nežiaduci zvuk strojného zariadenia je označovaný zvuk v počuteľnom frekvenčnom pásme od 20 Hz do 20 kHz.

- **Elektrodiagnostická**– Najčastejšie sa využíva pre identifikáciu porúch elektrického prúdu, odporu a pod. Jedná sa o technickú diagnostiku elektrických zariadení s pomocou najrôznejších metód. Pre odhalenie elektrických porúch sa využívajú aj už spomínané metódy, napr. pre odhalenie prechodového odporu v spoji sa využíva termodiagnostika alebo pre odhalenie nesymetrie elektromagnetického poľa vibrodiagnostika a podobne.

### 3.2 Vibrodiagnostika

Ako už bolo spomenuté k najdôležitejším nástrojom údržby patria metódy technickej diagnostiky alebo pre upresnenie vibrodiagnostika.

Technická diagnostika je z hľadiska základným atribútom, ktorý rozhoduje o bezpečnosti prevádzkovania, a je tiež ako môžeme aj nazvať prostriedkom k znižovaniu rizík v obecnom rozsahu. Ako najdôležitejší nástroj údržby technická diagnostika rozhoduje v oblasti bezpečnosti prevádzky zariadení a je prostriedkom k znižovaniu rizík v celkovom rozsahu.

Vykonávanie preventívnej údržby má značný vplyv na odhaľovanie porúch v ich počiatočnom štádiu čo umožňuje včasný zásah pre ich odstránenie ešte pred tým, ako sa porucha stane významným obmedzením spôsobujúcim finančne náročnú výmenu súčiastok. Tým sa teda predíde týmto nežiaducim situáciám. Pre tento účel sa používajú vibrodiagnostické prístroje.

Sledovanie vibrácií pohybujúcich sa častí strojov, ktoré je dôležitým nástrojom pre poskytnutie informácií o prevádzkovom a technickom stave zariadenia za účelom zabezpečenie strategického plánovania údržby. Dôležité je si uvedomiť, že vibrácie u rotujúcich strojov sú výrazne viazané na dynamické namáhanie strojov, čo taktiež súvisí so stavom ložísk, prevodoviek, nevyváženosťou a nesúosovosťou. Takže ich monitorovanie a vyhodnotenie patrí k základným a rozhodujúcim metódam technickej diagnostiky.

Základné pojmy technickej diagnostiky:

- Diagnostika - je to analýza okamžitého technického stavu zariadenia, alebo posúdenie zariadenia za daných prevádzkových podmienok. Základne úlohy diagnostiky sú napr. detekcia, lokalizácia, špecifikácia, predikcia.



- Diagnostický systém, ktorý vyhodnocuje technický stav zariadenia a objektu je tvorený z diagnostických prostriedkov, diagnostických objektov a obsluhy [5].

### 3.2.1 Frekvenčná analýza pomocou FFT

Základná a najbezpečnejšia metóda je frekvenčná analýza vibračných signálov FFT, ktorá hľadá v priebehu vibračných signálov periodické deje, ktoré sa potom zobrazia v danom súradnicovom systéme [8]. Keď použijeme napríklad súradnicový systém amplitúdy (os y) a frekvencie (os x) hovoríme o frekvenčnom spektre a pri súradnicovom systéme amplitúda (os y) a čas (os x) tak potom hovoríme o časovom priebehu. Hodnoty, ktoré sú namerané a zaznamenané sú potom analyzované a zobrazované vo forme tabuliek a grafov pomocou zariadenia pre monitorovanie stavu frekvenčného analyzátora vibrácií. Frekvenčné spektrum časového signálu je potom zobrazené v súradniciach amplitúda-frekvencia. Z hľadiska prenášanej energie je časový priebeh a frekvencia spektra rovnocenná. V zariadeniach alebo agregátoch s periodickým pracovným cyklom je vibračný signál spôsobený frekvenčným rozkladom a periodickými dejmi, tak vtedy je rozklad na množstvo sínusových signálov s príslušnou amplitúdou a začiatočnou fázou, ktorá dáva diagnostikovi významný nástroj pre príčinu a identifikáciu technického stavu a príčiny prípadného zhoršenia priradením jednotlivých zdrojov budiacim frekvenciám a spektru vibrácií. Rýchla Fourierova transformácia (FFT) je najrozšírenejší spôsob stanoveného frekvenčného spektra a aj súčasných analyzátorov a to pre svoju:

- presnosť,
- rýchlosť,
- zrozumiteľné nastavenie parametrov,
- realizovateľnosť vo forme univerzálneho elektrického obvodu.

Procesor môžeme rozdeliť na dve časti: pamäť pre odobratie digitalizovaného časového priebehu a matematické jednotky pre výpočet frekvenčného spektra, čo z pohľadu vlastného meracieho prístroja, res. Analyzátoru vibrácií je označované ako datakolektor (zberač dát), ktorý je zároveň analyzátorom, tzn. je vybavený vyhodnocovacím softvérom.

Hovoríme o meraní vibrácií, tak vlastne hovoríme o vyjadrení amplitúdy sínusového signálu, takže pre meranie celkových vibrácií sa používajú nasledujúce vyjadrenia:

- Špička – špička (Peak – to – Peak, niekedy tiež rozkmit) je vzdialenosť medzi najnižším a najvyšším vrcholom vlny (2 x špička)
- Špička (Peak) – vzdialenosť medzi vrcholom vlny a nulovou úrovňou
- Priemerná hodnota (Average), keďže väčšina priebehu nemá ideálny sínusový priebeh, tak je priemerná hodnota nie nulová (0,637 x špička)

- Efektívna hodnota (RMS – root mean square value). Je odvodená matematickou cestou (FFT – druhá odmocnina štvorcu okamžitých hodnôt), inak pri porovnaní energie alebo výkonu jednosmerného a striedavého prúdu. ( $0,707 \times$  špička u ideálnej sínusovej krivky). Jedná sa o najčastejšie vyjadrenie.

Každé vlastné zobrazenie frekvenčného pásma má rôzne formy. V praxi potom hovoríme nielen o zobrazení frekvenčného spektra či časovom priebehu, ale aj o možnosti prekrytia frekvenčných spektier v kaskádovom zobrazení frekvenčných spektier a podobne, čo je daným softwarovým komfortom a samozrejme vychádza to z požiadavky prevádzkovateľného nasadenia a nutnosťou interpretácie nameraných dát. Pre určenie technického stavu a pri analýze vždy rotujúceho objektu je nutné dodržiavať daný postup:

- Výpočet frekvencií budenia – určenie zubových, ložiskových a podobných frekvencií. Pre ich výpočet je preto nutná znalosť schematického schéma daného objektu a celá rada technických údajov. Vnútorný rozmer valivých ložísk, počet rotorových tyčí a podobne.

### 3.2.2 Merané veličiny

Mechanický pohyb je charakterizovaný dráhou (výchylkou), rýchlosťou alebo zrýchlením, pričom tieto veličiny sú navzájom viazané matematickými vzťahmi [9]. Teda pre popis vibračného signálu nezáleží, ktorú z týchto veličín použijeme, dôležité je teda ale použité meradlo a časový posun (fázy):

- výchylka vibrácií (anglicky displacement) sa udáva v mikrometroch [ $\mu m$ ]
- rýchlosť (anglicky velocity) je to prvá derivácia výchylky podľa času (rýchlosť zmeny výchylky) udáva sa obvykle v mm/s
- zrýchlenie (anglicky acceleration) je druhová deriváciou výchylky podľa času (veľkosť zmeny rýchlosti) udáva sa obvykle v  $m/s^2$

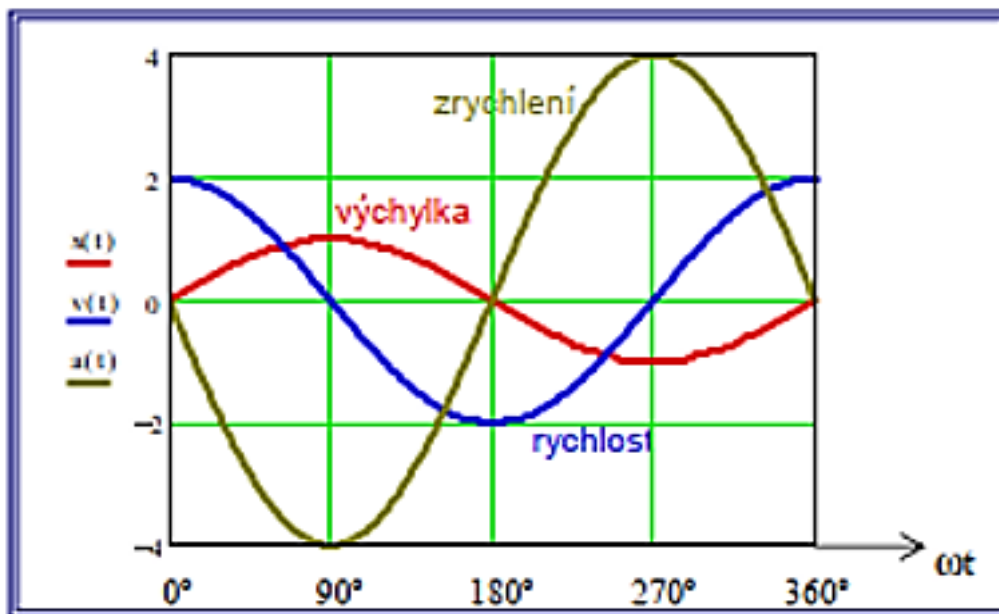
Na príkladu na obr.10 (kde  $X=1mm$ ,  $\omega=2rad/s$ ) sú znázornené priebehy týchto veličín v priebehu jednej periódy:

$$x(t) = X \cdot \sin(\omega t)$$

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = X \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$$

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -X \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t)$$

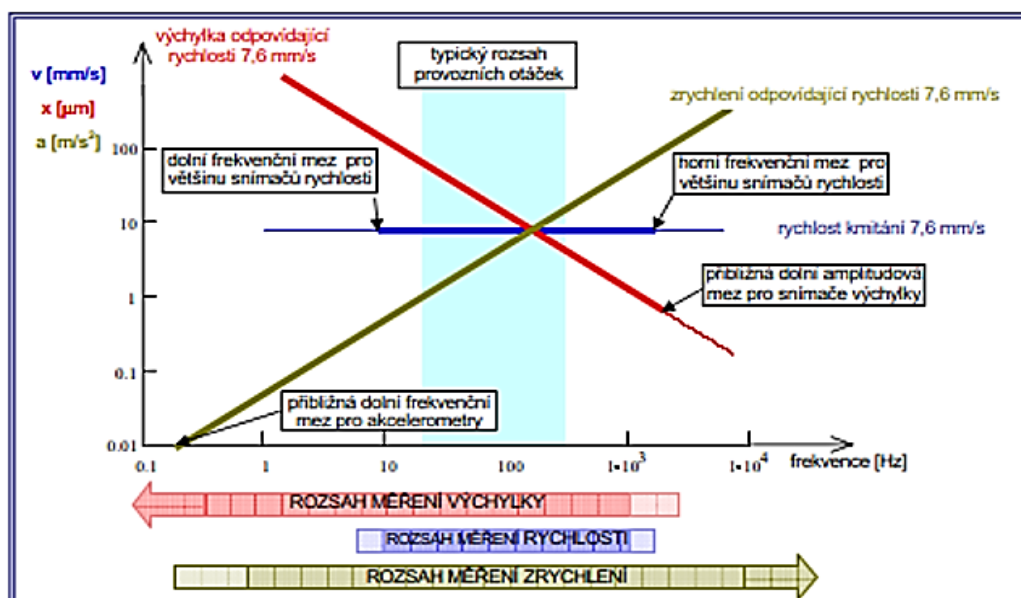
Z grafu vyplýva, že teoreticky nám stačí poznať jedinou veličinu a zvyšné dve si vieme relatívne jednoducho dopočítať pomocou matematických vzťahov. Rýchlosť vždy o  $90^\circ$  zaostáva za výchylkou a zrýchlenie o ďalších  $90^\circ$  za rýchlosťou, vid' obrázok 8.



Obrázok 8: Vzťah medzi výchylkou, rýchlosťou a zrýchlením. Zdroj [10]

Oproti výpočtu je pri meraní dôležité počítať aj s nepriaznivými vplyvmi pôsobiacimi na presnosť merania. Jedným z nepriaznivých vplyvov vyskytujúcich sa pri meraní je aj šum, ktorý pri slabých signáloch spôsobí väčšiu nepresnosť merania (chybu merania). Preto je vhodné voliť takú meranú veličinu, ktorá ma dostatočný odstup signálu od šumu.

Z obrázku 9 vyplýva, že pre bežné meranie v rozsahu frekvencií 10Hz až 1000Hz je vhodné použiť ako meranú veličinu rýchlosť, a pre vyššiu frekvenciu je zase lepšie použiť zrýchlenie, pre nižšiu frekvenčnú odchýlku. Uvažujme: ak konštanta veľkosť kmitania na všetkých frekvenciách vyjadrená rýchlosťou napr. 7,6 mm/s (čo je hodnota, s ktorou sa pri meraní rotačných strojov môžeme bežne stretnúť) potom výchylka pri tej istej veľkosti vibrácii sa s narastajúcou frekvenciou znižuje a zrýchlenie zväčšuje. Frekvenčný rozsah, ktorý nás zaujíma, je teda jedným z faktorov, ktorý rozhoduje o typu meranej veličiny. Najlepšou voľbou pre meranie bude zrýchlenie a to z dôvodu širokého frekvenčného rozsahu, ktorý zahŕňa aj vysoké frekvencie. Naopak keď bude meranie obmedzené na otáčkovú frekvenciu, bude najlepšou voľbou meranie výchylky alebo rýchlosti (v závislosti na aplikácii). Zatiaľ čo pri meraní rýchlosti vibrácii nie je frekvencia (otáčky), pri ktorej meranie prebehlo dôležitá, tak pri použití merania výchylky alebo rýchlosti je frekvencia, pri ktorej meranie prebehlo nutná pre vyhodnotenie stavu stroja.



Obrázok 9: Obmedzenie pri meraní Zdroj [11]

## Ozubené prevody

U ozubených prevodov je dôležité popísať dej záberu ozubených kolies, ktorý však so všetkými fyzikálnymi javmi prebiehajúcimi počas deja je dej komplikovaný, s bohatou odozvou ak má členité spektrum [12]. Preto je nutné popis pojať heslovite.

### Základné východiskové body

- Nesprávna montáž a základné únavové poškodenie zubov sa v spektrách prejavuje na otáčkovej zubovej frekvencii:

$$f_{z12} = z_1 \cdot f_{R1} = z_2 \cdot f_{R2}$$

kde  $z_1, z_2$  je počet zubov pastorku, kola

$f_{R1}, f_{R2}$  je rotorová frekvencia pastorku, kola  $\rightarrow \int r1 = \frac{n_1}{60}$

a ďalej pri frekvencii druhej a tretej harmonickej zubovej frekvencii:

$$f_{2Hz} = 2 \cdot f_z$$

$$f_{3Hz} = 3 \cdot f_z$$

- Typickým prejavom poškodenia zubov je nárast zložiek s frekvenciou  $f_{2Hz}$  a  $f_{3Hz}$  ten je relatívne väčší než amplitúda s  $f_z$ . Preto je veľmi dôležité merať spektrum vibrácií tak, aby maximálnou frekvenciou spektra bol rozsah meraný:

$$f_{\max} > f_{3Hz}$$

- Typickým znakom poškodenia zubov z boku je výskyt postranných pásiem okolo uvedených frekvencií  $f_z, f_{2Hz}, f_{3Hz}$  (veľkosť postranných pásiem je daná veľkosťou frekvenčných otáčok hriadeľa  $f_r$ ). Postranné pásma k nosným zložkám sú prejavom modulačných efektov (nepresnosť výroby, premenlivý  $M_k$  apod.). Ak to teda

uvedieme vo forme vzorcov, vyjadrime tak postranné pásmo okolo zubovej frekvencie ( $f_z$ ), ktoré má rozsah  $f_z \pm f_r$

- Poruchy pôsobiace počas otáčky majú dvojitý charakter, tzv. lokálny a distribučný. Lokálny je napr. pitting na jednom zube, naopak distribučný charakter poruchy pôsobí na všetky zuby, napr. hádzanie ( nesúosovosť ozubenia a ozubenie kolesa). To sa prejaví v postranných pásmach niekoľkými zložkami u všetkých zubov. Opotrebenie ozubenia spôsobuje nárast veľkosti postrannej zložky a obecné ich veľkosť koreluje s veľkosťou nosných zložiek.
- Nové poškodenie čelného súkolesia s priamymi zubmi je výrazným budičom vibrácií (Premenná statická tuhosť zubov v zábere). Vhodná korekcia ozubenia môže tento druh budenia znížiť na úkor únosnosti.
- Čelné súkolia so šikmými zubami a kuželové súkolesia so zakrivenými zubami vykazujú menšie vibrácie a hluk.

Vo výsledku je zubová frekvencia počet dotykov zubov za sekundu. Rozbor postranných pásiem sa vykonáva pomocou keprálnej analýzy, tzn. výstup je tzv. modulácia z keprer vibrácií, čím získame ďalšie potrebné informácie na zistenie technického stavu ozubenia. Teda ďalšie opotrebenie bokov zubov zvyšuje úroveň bočných vibrácií. Pre vyhodnotenie stavu prevodovky je veľmi zložitá v prípade, že máme k dispozícii len frekvenčné spektrum. Zložitosť vyhodnotenia ovplyvňuje i zložitosť prevodovky (viacstupňové, planétovej pod.), tým sa tento problém násobí. Preto pre vyhodnotenie technického stavu prevodovky sa doporučuje použiť multiparametrický prístup- vid' kap. 3.4.8. Najvýhodnejšie je kombinácia vibro + tribo metód [13, 14]. No je nutné vziať do úvahy fakt, že každá prevodovka z konštrukčného hľadiska obsahuje ložiská, hriadele a pod.. V tom prípade je možné pre analýzu použiť aj multiparametrické alternatívne metódy. Podrobnosti k danej problematike nájdete v prácach prof. Ing. Štefana Beneša, CSc. [15,16].

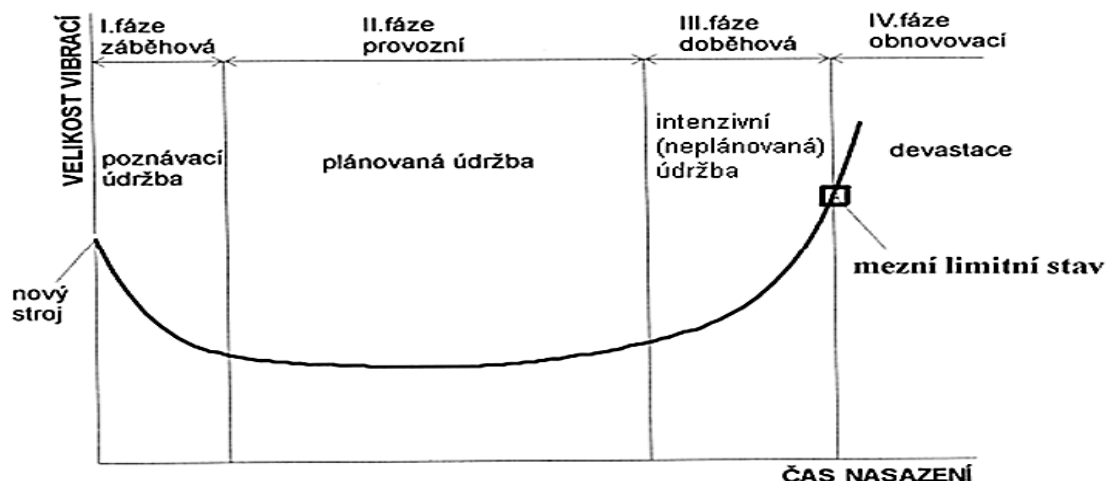
### 3.2.3 Celková mohutnosť kmitania (trendovanie vibrácií)

Do úvodu môžem uviesť z pohľadu teórie nasledovné [5]:

- CELKOVÉ VIBRÁCIE (OVERALL)- celkové vibrácie predstavujú celkovú vibračnú energiu meranú v istom frekvenčnom rozsahu (najčastejšie 0-1000Hz). Meraním celkových vibrácií stroja alebo jeho častí a porovnaním tejto hodnoty s jej normálnou úrovňou, získame informáciu o objektívnom technickom stave stroja a zistíme čo spôsobilo vyššie hodnoty.
- CELKOVÁ mohutnosť (môžem nazvať aj INTENZITA) kmitov sa rozumie hodnota nameraná na funkčne dôležitom alebo najdôležitejším mieste stroja (tzv. Lokálne

frekvencie, napr. Otáčková frekvencia vstupu, otáčková frekvencia prvého ozubenia a pod.). Porovnáme s jej predchádzajúcou hodnotou a limitnou hodnotou, čím získame informáciu o objektívnom technickom stave danej časti. Ak tieto hodnoty vynesieme do funkčnej závislosti  $VEF = f(t)$ , tak získame tzv. Vaňové krivky. (obrázok 10) tzn. časový priebeh hladiny vibrácií počas technického života pre danú (dôležitú, najdôležitejšie, kritickú) časť stroja. Z Vaňovej krivky potom môžeme následne predikovať (prognózovať) zvyškovú životnosť (čas do nutnej opravy danej časti) a ďalšie potrebné údaje nutné pre strategické plánovanie údržby vo všeobecnom zmysle slova.

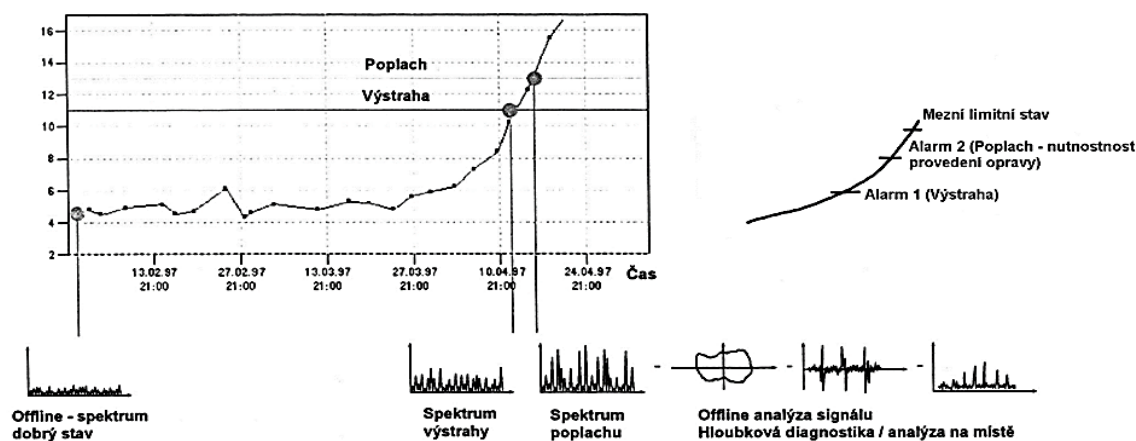
Trendový graf je časový graf (obrázok 11), ktorý zobrazuje súčasnú a predchádzajúcu hodnotu vibrácií v závislosti na čase. Z trendového grafu a nameraných hodnôt je zrejmé ich poloha k nastavenej úrovni výstrahy a poplachu, tzn. vibračnou diagnostikou zistíme príčiny vznikajúcej poruchy a musia nasledovať vhodné údržbárske opatrenia. Trend, resp. vývoj vibrácií v čase sa sleduje pre vypočítané lokálne otáčkové frekvencie (otáčková frekvencia ozubenia a pod.).



Obrázok 10: Časový priebeh vibrácií počas technického života -Vaňová krivka. Zdroj [5]

Trendy v dobehovej fáze Vaňovej krivky (obr. 10) nám umožní predikovať (určiť) už spomínanú zvyškovú životnosť (čas do nutnej opravy), tzn. vykonávame regresiu (dopočítania) priebehu trendu do danej limitnej hodnoty, čím získame dôležitý údaj pre plánovanie a riadenie údržby.

Ako je zrejmé- trendovanie sa nezaobíde bez určenia limitných hodnôt vibrácií, lebo od tohto základu sa odvíja ďalší postup. Samozrejmosťou by malo byť aj určenie týchto limitov pre kvalitnú úroveň chodu (prevádzky) diagnostikovaného objektu (predtým stav DOBRÝ, USPOKOJIVÝ, NEUSPOKOJIVÝ).



Obrázok 11: Trendovanie vibrácií. Zdroj [5]

Prekročenie musí byť dôkladne zanalyzované (obr. 11) a až potom je možné vykonať zodpovedajúce závery. Pri analýze je nutné si uvedomiť, ako už bolo spomenuté, že nielen prekročenie limitnej hodnoty vibrácií dáva informácie o technickom stave objektu. Aj relatívne malé zložky vo frekvenčnom spektre obsahujú informácie o dôležitých zmenách prevádzkových dynamických síl, tzn. hodnotíme aj relatívne zmeny v porovnaní s referenčným frekvenčným spektrom a v porovnaní s posledným meraním frekvenčného spektra.

Takže aj tu je postup merania a analýzy daný tým, čo už bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole 3.4.1., Tzn.- zmeranie referenčného spektra (dobrý stav) určenie limitných hodnôt vibrácií, trend parametrov, výstraha a poplach pri prekročení limitných hodnôt vibrácií a analýza s použitím metód hĺbkovej diagnostiky [5].

### 3.2.4 Alternatívne metódy a metódy na meranie technického stavu valivých ložísk

Vibračné signály sú spracované nielen v časových priebehoch, frekvenčných analýzach, ale aj inými metódami, ktoré umožňujú lepšiu analýzu daného objektu, konštrukčného uzla či elementu a lepšie rešpektujú prevádzkové podmienky. Tento ďalší spôsob možného spracovania vibračného signálu ponúka nielen ďalší spôsob analýzy, ale predovšetkým má pre dané meranie väčšiu vypovedaciu schopnosť pre určenie technického stavu. Jedným z typických príkladov uvedených alternatívnych metód sú predovšetkým metódy na meranie technického stavu valivých ložísk.

Činnosť valivých ložísk a záber ozubených kolies, ktoré má opakujúci sa charakter vytvára vibračné signály s oveľa nižšou amplitúdou a vyššími frekvenciami, ako u vibračných signálov budených otáčkovou frekvenciou. Pre dosiahnutie požadovaných výsledkov meraní je nutné vyfiltrovanie otáčkových vibračných signálov a zosilnenie opakujúcich sa zložiek signálov od defektu valivého ložiska. Je nutné podotknúť, že rôzne firmy používajú rôzne metódy, preto v nasledujúcich riadkoch uvediem

komplexný prehľad aj keď niektoré z uvedených metód sú históriou, ale z pedagogických dôvodov je nutné ich uviesť.

Spôľahlivé určenie stavu poškodenia valivých ložísk nie je jednoduché z jedného merania spektra FFT vibrácie. Zložky spektra odpovedajúce poškodeniu vnútorného a vonkajšieho krúžku valivých telies sú maskované šumom a inými zložkami budenia. Pri šírení poškodenia valivého ložiska sa v spektre vibrácie prejavujú zložky s vlastnou frekvenciou ložiska 0,5 až 2kHz. Znalosť frekvencie rázového budenia vnútorného a vonkajšieho krúžku, valivých telies a kletky (vnútorné rozmery valivého ložiska) je potrebná pre spoľahlivé určenie poškodenia ložiska. Z toho je zrejmé, že na určenie stavu poškodenia valivého ložiska sa vedľa spektra používa celý rad ďalších metód. Metódy pre zisťovanie stavu valivých ložísk vychádzajú z poznatku, že odvaľovaním poškodeného prvku ložiska dochádza k zvýšeniu úrovne vibrácií na frekvencii nárazov, ďalej potom na frekvenciách harmonických a rezonančných [5].

- ❑ **SPM** (Shock Pulse Meter)- snímanie krátkodobých tlakových vln vyvolávaných mechanickými rázmi, ktoré vznikajú vplyvom drsnosti ložiskových dráh a valivých telies, tzv. rázové impulzy snímame v rozmedzí 30 - 40kHz. Snímanie tzv. prahovej úrovne (dBc) a špičkovej úrovne (dBm), zakresľuje do grafu a pri vstupe do červeného poľa (35dB) je ložisko označené ako chybné.
- ❑ **BCU** (Bearing Condition Unit)- nepriame meranie rázových impulzov prebieha pomocou obsahu energie akustických kmitov šírených v pevnom materiáli prejavujúcich sa v kmitočtovej oblasti 20 - 40kHz. Vyhodnocujú sa špičkové hodnoty meraného signálu.
- ❑ **RBP** (Related Bearing Product)- zisťujú sa efektívne a špičkové hodnoty zrýchlenia v rozsahu 2 - 16kHz.
- ❑ **Crest factor**- vyhodnotenie pomeru špičkového zrýchlenia a jeho strednej hodnoty vo frekvenčnom pásme 10Hz - 10kHz a časovej postupnosti.
- ❑ **Q faktor**- využitie pomeru medzi strednou a špičkovou hodnotou amplitúdy emitovaného ultrazvukového signálu na pracovnú frekvenciu 40kHz.
- ❑ **K (t) parameter** - vyhodnotenie vzťahu

$$K(t) = \frac{\alpha_{ef(0)} \cdot \alpha_{peek(0)}}{\alpha_{ef(0)} \cdot \alpha_{peek(0)}}$$

kde	(0)	predvolená hodnota zrýchlenia v čase 0
	(T)	okamžitá hodnota zrýchlenia v čase t
	ef	efektívna hodnota zrýchlenia
	peek	špičková hodnota zrýchlenia

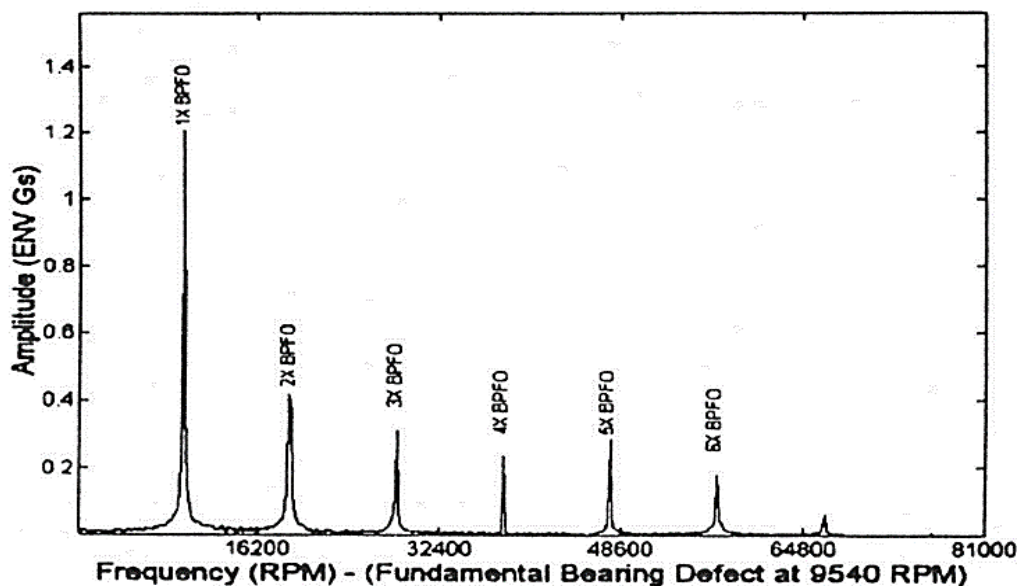


- **KURTOSIS**- posúdenie štatistického rozdelenia amplitúd chvenia so zreteľom na odchýlku od normálneho rozdelenia vo frekvenčnom rozsahu 2,5 - 80kHz pri rozdelení do piatich frekvenčných pásiem. Hodnotí sa podľa veľkosti tzv. K - faktoru.

$$KA = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^4 \cdot p(x) dx}{\sigma^4}$$

kde  $x$  amplitúda signálu,  $\bar{x}$  - stredná hodnota,  $p(x)$  - pravdepodobnosť ( $x$ )  
 $\sigma$  štandardná odchýlka voči nulovému signálu

- **Obáľková METÓDA (ENVELOPE)**- činnosť ložísk a záber ozubených kolies, ktoré majú opakujúci sa charakter, vytvára vibračné signály s oveľa nižšou amplitúdou a vyššími frekvenciami ako je tomu pri vibračných signáloch budených otáčkami alebo konštrukciou. Uvediem príklad: Ak sa u ložísk s valivými elementami objaví defekt na jeho vonkajšej dráhe, potom každý valivý element prechádzajúci týmto miestom vyvolá malý opakujúci sa signál s frekvenciou odpovedajúcou tejto poruche v ložisku. Tento signál má však takú slabú energiu, že sa pri bežnom meraní celkové frekvenčné spektrum úplne stratí v šume a ďalších budiacich otáčkových frekvenciách. Príklad merania je na obr. 12.



Obrázok 12: Príklad obáľkového spektra vonkajšieho krúžku valivého ložiska. Zdroj [5]

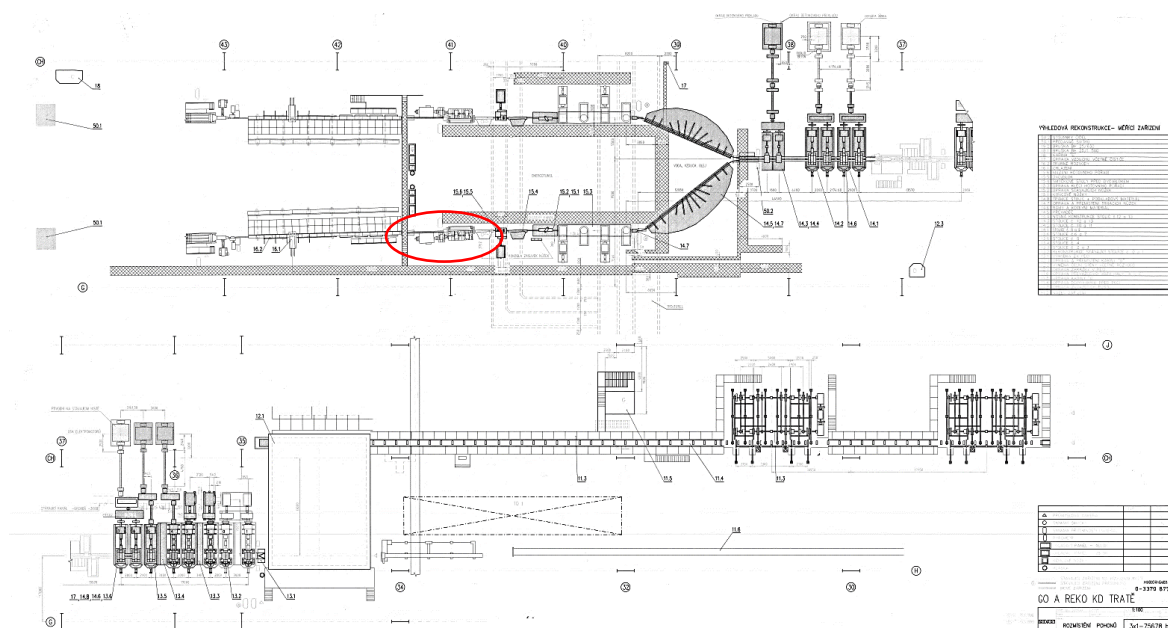
## 4 Technický návrh diagnostiky pre zariadenie štvorbloku

Účelom merania vibrácií ložísk na danom zariadení štvorbloku je predikcia porúch klzných a valivých ložísk a tým predčasná lokalizácia porúch, ktoré môžu na danom zariadení vzniknúť. Cieľom projektu je predĺženie životnosti motora, prevodovky (rozvodovky) a jednotiek štvorbloku a predĺženie cyklu preventívnej výmeny jednotiek štvorbloku.

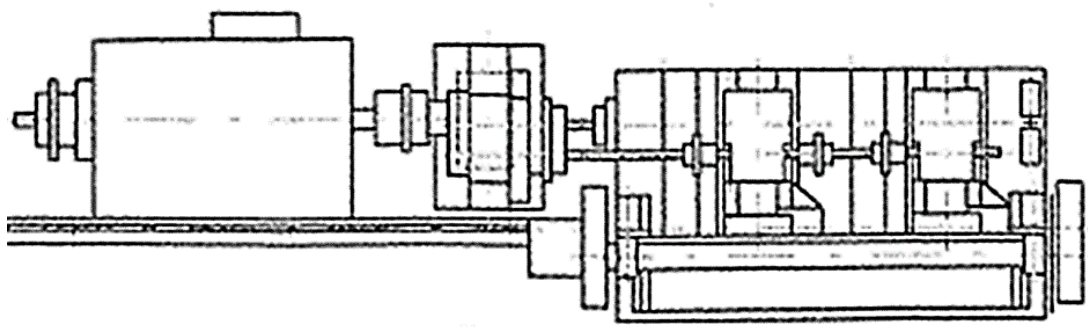
### 4.1 Technické riešenie a zadanie technickej špecifikácie

#### 4.1.1 Pozícia meraného zariadenia na valcovní drôtu pre meranie vibrácií

Nasledujúci obrázok 13 ukazuje pozíciu meraného zariadenia v rámci celej kontidrôtovej trati na valcovní KD. Štvorblok je umiestnený ako posledný z valcovacích strojov za dvojblokom. Ďalší začínajúci v toku materiálu už len slúži k doprave valcovaného drôtu a jeho chladenia, prípadne ukladania do zväzkov. Na obrázku 14 je vidieť usporiadanie jednotlivých agregátov štvorbloku.



Obrázok 13: Umiestnenie zariadenia štvorbloku na valcovní KD. Zdroj: [17]



Obrázok 14: Detail finálneho zariadenia štvorbloku pre valcovanie drôtu. Zdroj: [17]

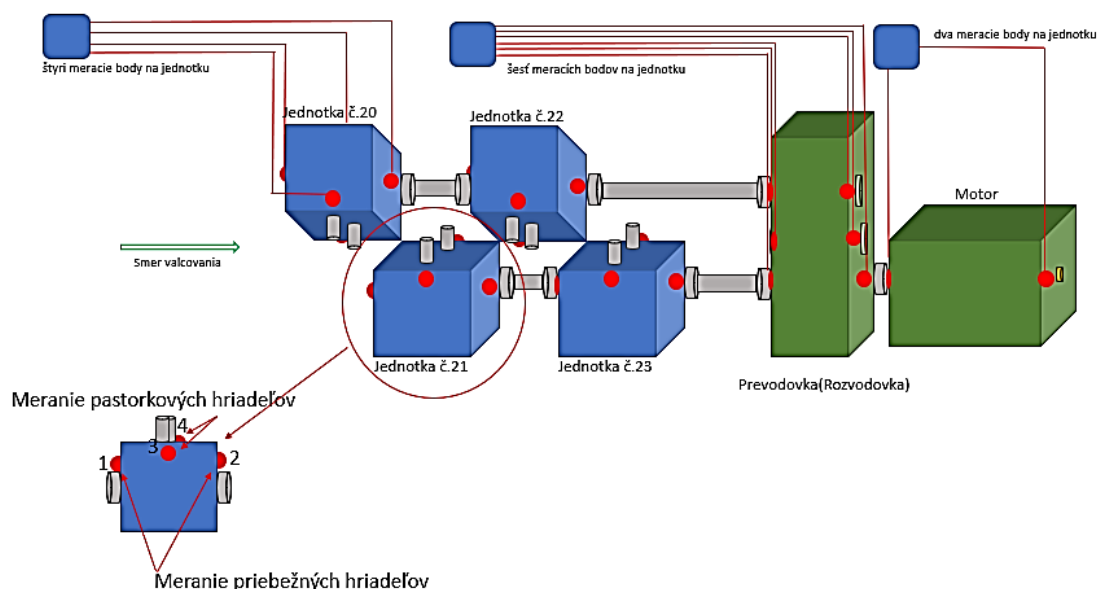
#### 4.1.2 Technický návrh riešenie merania vibrácií a rozsah merania

Návrh technického riešenia vychádza z rozboru kinematickej schémy štvorbloku, detail je umiestnený v prílohe č. 3, ktorý zachytáva schematicky všetky ložiská, hriadele a ozubené kolesá. Kinematická schéma je základným nástrojom diagnostiky a diagnostikovateľného objektu [18]. Jednoducho a prehľadne zobrazuje funkčnú časť stroja a zariadenia. Neinformuje o detailoch uloženia a usporiadania, vyplýva z nich podstata a hlavná funkcia stroja alebo zariadenia. Kinematické schémy sa používajú najčastejšie v užívateľských príručkách alebo v učebniciach. Táto kinematická schéma je vytvorená pre diagnostikovanie zariadenia štvorbloku valcovne drôtu v LO. V tejto kinematickej schéme sú zobrazené detaily motora, prevodovky a jednotiek.

Rozborom kinematickej situácie štvorbloku som sa rozhodol pre nasledujúce meranie:

- ložísk motora,
- valivých ložísk na vstupných a výstupných hriadeľoch prevodovky (rozvodovky)
- klzných a valivých ložísk jednotiek štvorbloku č.20,21,22 a 23. Na jednej jednotke sa budú merať ložiská priebežných hriadeľov, predlohových hriadeľov a pastorkových (výstupných) hriadeľov.

Na základe týchto rozhodnutí som vypracoval schému umiestnenia snímačov na štvorbloku, viď obrázok 15.



Obrázok 15: Rozmiestnenie snímačov na zariadení štvorbloku. [Zdroj: autor]

#### 4.1.3 Parametre merania

Stanovenie meracích bodov je nasledujúce:

- Motor: dva meracie body
- Prevodovka( rozvodovka): šesť meracích bodov
- Jednotka štvorbloku: štyri meracie body

Celkom bude na zariadení štvorbloku jednej valcovacej žily 24 meraných bodov, ktoré budú merať vibrácie ložísk v radiálnom a axiálnom smere. Definícia týchto bodov je na obrázku 15 a určil som ich počas prípravy projektu s dodávateľom. Káble jednotlivých snímačov budú zvedené do združovacích boxov. Združovací box bude pripojený s riadiacou jednotkou v ovládacom paneli linky. Pri výmene jednotky sa iba prepoja káble k snímačom jednotky. Na jednotke budú vopred pripravené a nainštalované snímače na miestach, ktoré si vopred určíme. Na každej jednotke musia byť umiestnené snímače v rovnakej polohe. Výmena jednotky sa bude evidovať a zapisovať do údržbárskeho systému Liberty Ostrava.

## 4.2 Špecifikácia hardwarového riešenia

Pre meranie mechanickej výchylky vibrácií a ich prevod na elektrickú veličinu, ktorá sa ďalej zosilňuje a spracuje, slúži snímač vibrácií. Pre rozdielne podmienky a aplikácie sú vytvorené rôzne druhy snímačov vibrácií, ktoré sa môžu líšiť napr. rozsahom frekvencií, dynamickým rozsahom, presnosťou, citlivosťou na teplo, cenou a pod. Pre základné rozdelenie snímačov je možné uviesť dva základné druhy.

- Seizmické zariadenie, ktoré sa normálne pripevňuje na konštrukciu stroja a ich výstup je mierou absolútnych vibrácií konštrukcie.

- Snímače relatívnej výchylky, ktoré merajú relatívnu vibračnú výchylku medzi rotujúcimi a nerotujúcimi dielmi strojného zariadenia [5].

### **Výber snímačov vibrácií**

Rozsah ponúkaných vibračných senzorov je široký, pretože vibračný senzor má veľa rôznych charakteristík, ktoré sa môžu líšiť, vrátane faktov súvisiacich s meraním ako je frekvenčná charakteristika, citlivosť a presnosť. Pretože realizácia práce bola založená na štandardných odberateľsko- dodávateľských vzťahoch, nasleduje sprievodca skúsenosťami dodávateľa SKF v používaní senzorov v najbežnejších priemyselných odvetviach, v ktorých sa používa monitorovanie vibrácií. Pre každý priemysel sú uvedené vlastnosti kvalitného vibračného senzora.

**Dobré**– výber všeobecného účelu, ktorý ma primerané miery merania a fyzikálne vlastnosti pre programy na monitorovanie stavu, kde sú dáta trénované pre zmenu a absolútna presnosť nie je tak dôležitá.

**Lepšie**- voľba pre všeobecne použitie, ktorá ma adekvátne merania a fyzikálne vlastnosti pre programy na monitorovanie stavu, ale aj pridáva zvláštne rysy, ako je rozšírený teplotný rozsah alebo montážne orientácie, ktorá lepšie vyhovuje aplikácii.

**Najlepšie**– prémiová voľba, ktorá má optimálne meranie a fyzikálne vlastnosti, ale tiež ponúka najdlhšiu históriu ako dôkaz spoľahlivosti. Sú obzvlášť vhodné pre kritické strojárské aplikácie, kde môže byť senzor použitý v bezpečnostných funkciách, ako je ochrana strojov.

### **Kombinované senzory vibrácií a teploty**

Sú dostupné tieto snímače podľa katalógu [19], prehľad tvaru je na obrázku 16:

CMSS 2100T: priemyselné čidlo, priamy výstup, zrýchlenie a teplota

CMSS 2200T: priemyselné čidlo, bočný výstup, zrýchlenie a teplota

CMSS 793T-3: vynikajúci senzor, priamy výstup, zrýchlenie a teplota

CMSS 797T-1: špičkový senzor , kruhový režim, bočný výstup, zrýchlenie a teplota

Senzor CMPT 2310T: pre náročné prostredie, bočný výstup, zrýchlenie a teplota

CMPT 2323T: senzor pre náročné prostredie, bočný výstup, zrýchlenie a teplota

Porovnaním parametrov uvedených snímačov bude pre technické riešenie merania štvorbloku najlepším snímač CMSS 2200-M8.



Obrázok 16: Snímače pre meranie vibrácií. Zdroj [19]

## Požiadavky na inštaláciu a montáž snímača vibrácií

### Požiadavky na kabeláž

Kabeláž je jedným z najdôležitejších aspektom inštalácie vibračného senzora. Rovnako ako pri senzoroch a monitorovacích zariadeniach sú peniaze ušetrené nákupom nižších komponentov zvyčajne zlá investícia. Čas a úsilie na riešenie problémov spojených so zlou kabelážou sa môžu ľahko stať niekoľkonásobne nákladnejšie ako pôvodný kábel. Okrem toho môžu byť výsledkom merania nespoľahlivé a nepresné merania, čím sa stráca účel programu na monitorovanie stavu na prvom mieste. Pozornosť sa musí venovať šiestim hlavným dôvodom tykajúcich sa káblov:

- Typ
- Dĺžka
- Smerovanie
- Uzemnenie
- Kotvenie
- Životné prostredie

### Typ kábla

Vibračné signály sú dynamické, zvyčajne modulované na napätie a majú malú amplitúdu (milivoly na inžiniersku jednotku), takže typ použitého kábla je dôležitým faktorom pri určovaní kvality signálov, ktoré sa dostanú k zariadeniu na monitorovanie vibrácií. Montáž je dôležitá pre trvalo nainštalovane senzory, pretože dĺžka kábla je zvyčajne dlhšia, a preto je vystavená viacerým možným zdrojom hluku.

Odporúča sa vysokokvalitný kábel v súvislosti s vibráciami môže byť, kvalita“ navrhnutá ako tienený kábel.

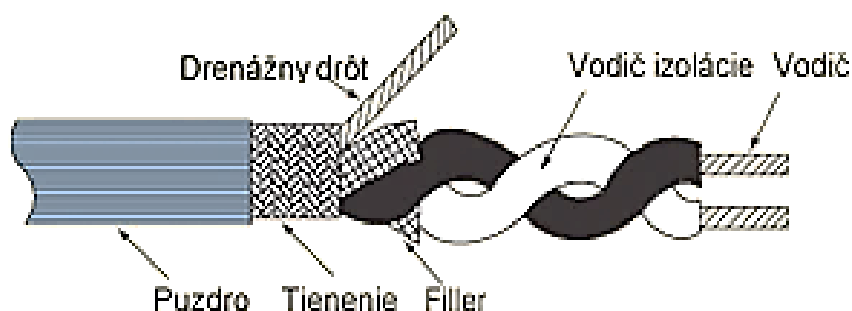
Vo všeobecnosti sa koaxiálne káble neodporúčajú na použitie s vibračnými monitormi v priemyselnom prostredí. Nie sú dostatočne robustné a sú náchylné na rušivé vplyvy, pretože akýkoľvek typ hluku sa zachytí na tienení koaxiálneho kábla a zosilní sa pozdĺž neho.

### Káble čidiel vibrácií a príslušenstvo

Hromadný kábel: jednoduchý alebo dvojité tienení, žltý alebo modrý plast, skrútené dvojité alebo trojité káble

Káble SKF CMSS 93X-XX sú špičkové káble snímačov, ktoré poskytujú vynikajúci výkon v náročných prostrediach.

Zostava dvojžilového kábla



Obrázok 17: Zostava dvojžilkového kábla. Zdroj [19]

Pri realizácii spojenia čidiel s meracou jednotkou bol vybraný kábel typu CMSS 932. Ide o kábel s jednoduchým alebo dvojitém tienením, krútený pár s vodičmi jednotlivo izolovanými z polyméru na báze luoru, opleteným tienením s drenážnym drôtom a vonkajším izolovaným plastom z polyméru na báze luoru, izolovaný drenážny drôt a dva sklenené káblové chrániče, vid' obr. 17. Možnosť dvojitého tienenia dodáva vnútorný štít z hliníkovej polyesterovej fólie s drenážnym drôtom.

Kábel CMSS 932, s výnimkou trojvodičovej verzie pre použitie s duálnymi snímačmi teploty a vibrácií. Tento kábel nemá možnosť dvojitého tienenia. K dispozícii sú dve farby vodiča (plastu):

- Žltá: Na zabezpečenie vysokej viditeľnosti v často prašnom, a troskovom priemyselnom prostredí
- Modrá: na použitie vo vnútorne bezpečných obvodoch v priemysle spracovania ropy, plynu a uhl'ovodíkov

### 4.3 Technické riešenie diagnostiky štvorbloku

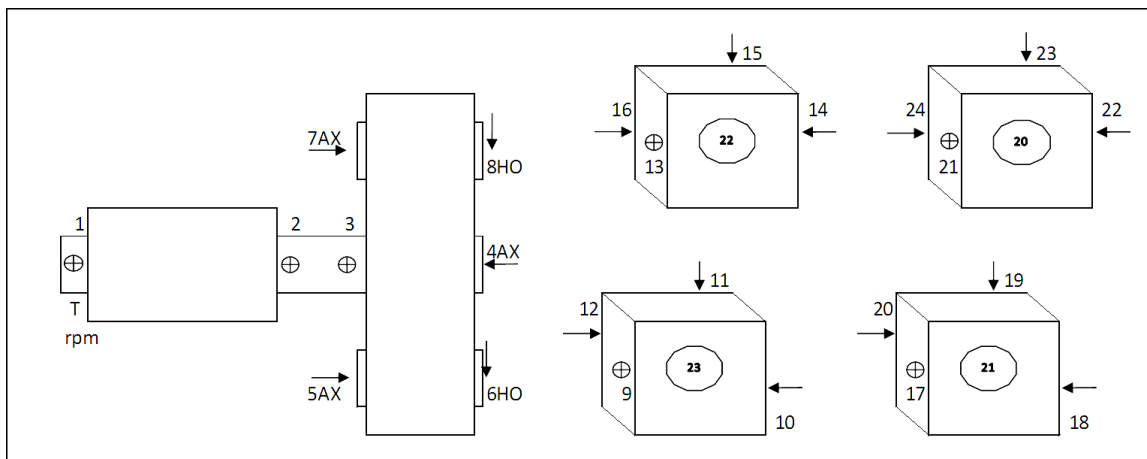
Môj návrh technického riešenia sa zaoberá hardwarovými prostriedkami firmy SKF CZ, a.s.. Rozbor jednotlivých prvkov bol podaný v kapitole 4.2.

Vychádza sa z kinematickej schémy (príloha 3) a schémy umiestnených snímačov (obr. 18).

Výber jednotlivých prvkov je nasledujúci:

- Káble typu CMSS 932-68TLN s konektormi IP 68 jednotlivých snímačov budú zvedené do združovacieho boxu 8 kanálovej jednotky IMx-8 [20], viď obrázok 19. Jedná sa o kompaktnú monitorovaciu jednotku s 8 analógovými a 2 digitálnymi výstupmi. Meranie prebieha na všetkých kanáloch súčasne s možnosťou ukladania časových vzoriek na základe vzniknutej udalosti, separátne meranie trendov (statické hodnoty, FFT spektra a časové záznamy dynamické hodnoty v rozdielnom čase)
- V združovacom boxe budú umiestnené všetky tri jednotky IMx-8 a vzájomne prepojené spoločným káblom typ CMSS 932
- Dáta z jednotky sú posielané pomocou GSM modemu do dátového centra SKF CZ, a.s. Z firmy SKF CZ, a.s. pomocou vzdialeného prístupu je možno dáta prehliadať, meniť nastavenia, vyhodnocovať, sledovať on-line v reálnom čase. Použitý software je @ptitude Observer.
- Na elektromotoroch budú 2 meracie body, osadené snímačmi CMSS 2200-M8, obrázok 20
- Na prevodovke (zvyšovač rýchlosti) bude 6 meracích bodov, osadených snímačmi CMSS 2200-M8
- Na jednom module budú 4 meracie body, osadené snímačmi CMSS 2200-M8
- Meranie otáčok je prevedené pomocou otáčkového čidla namontovaného v ložisku motoru L1, obrázok č 21. Bolo použité čidlo TURCK Ni12U-M18-AN6X





Obrázok 18: Obrázky zo systému, kinematická schéma rozmiestnenia snímačov. [Zdroj: autor]

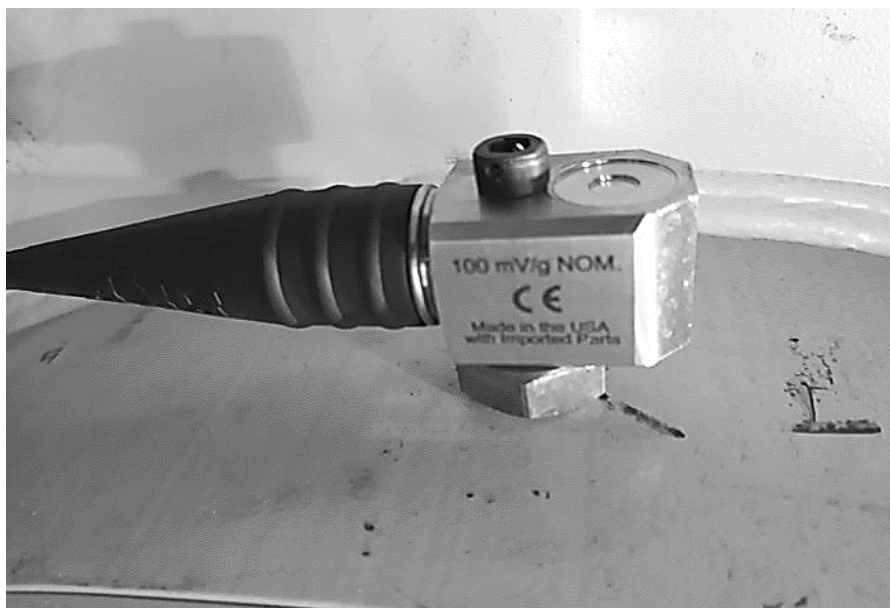
Výhodou jednotiek IMx-8 je komunikácia inými jednotkami cez MOTBUS, alebo OPC a 4Gb internej pamäti. V spoločné databáze bol vytvorený strom merania, jednotlivé meracie skupiny a v nich meracie body

- Rýchlosť vibrácií– VEL,
- Zrýchlenie– ACC,
- Obálka signálu zrýchlenia filter III– EN3

Výstupy z meraní počas reálneho valcovania budú diskutované v nasledujúcej kapitole.



Obrázok 19: 8-kanálová jednotka IMx-8. [Zdroj: autor]



*Obrázok 20: Snímač CMSS (s citlivosťou 100mV/g). [Zdroj: autor]*

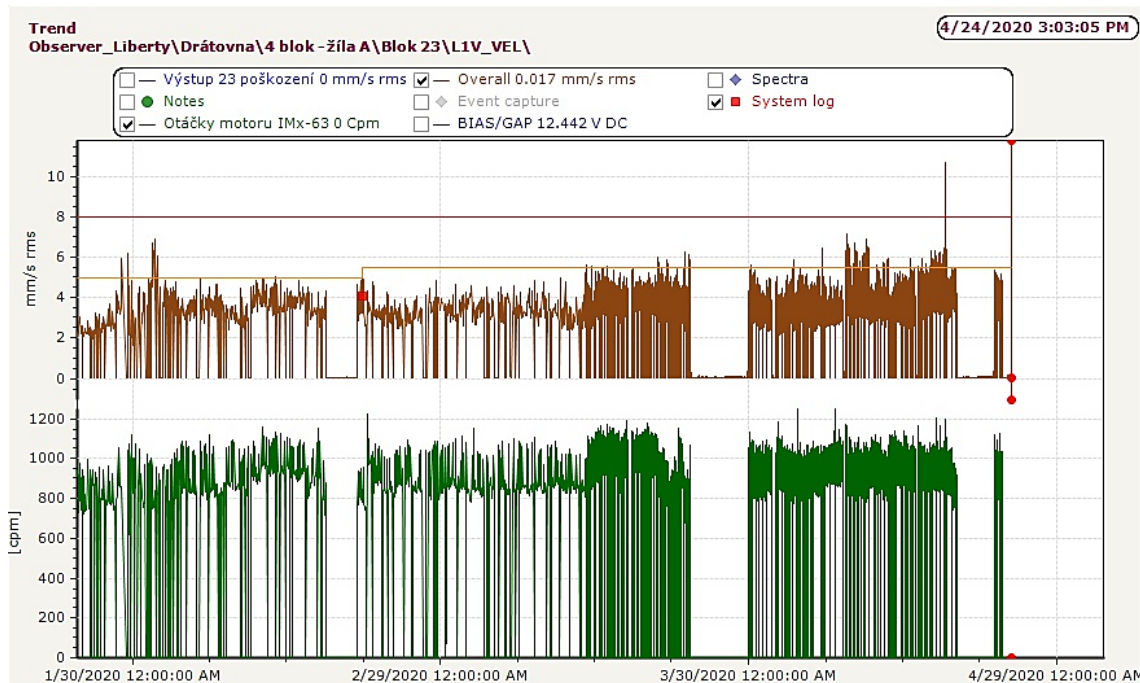


*Obrázok 21: Čidlo TURCK Ni12U-M18-AN6X. [Zdroj: autor]*

## 5 Namerané dáta a ich vyhodnotenie

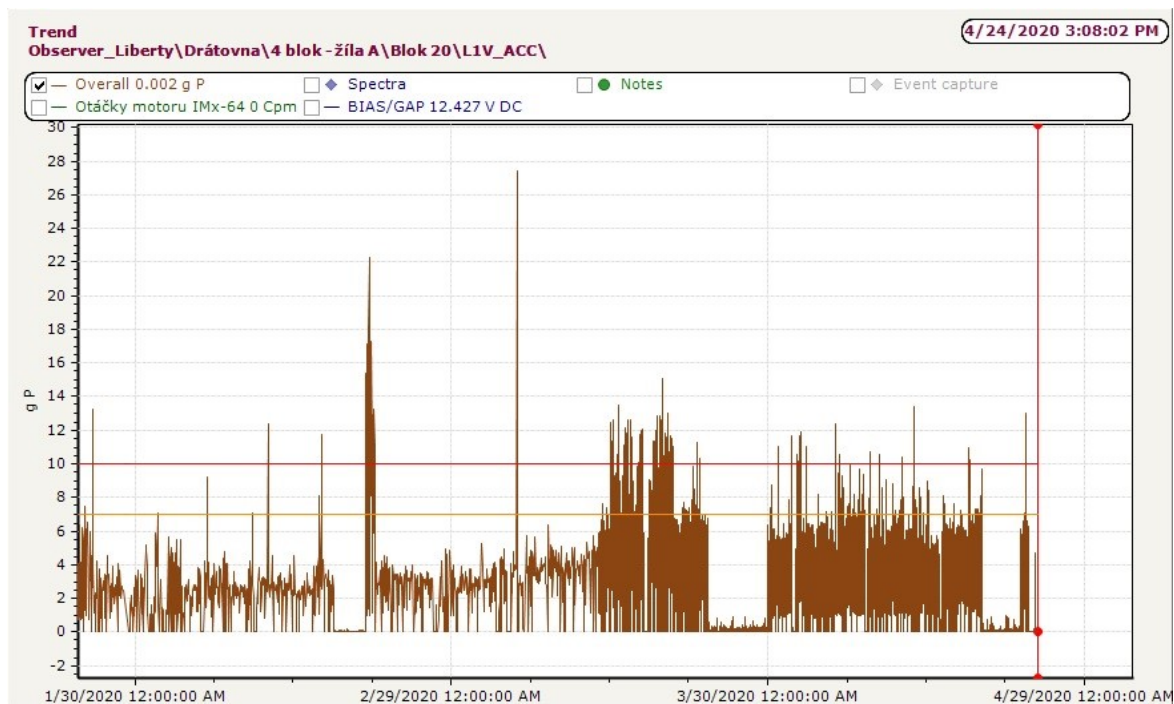
### 5.1 Prvotné meranie pre odhad trendov

Jednou zo základných prác v diagnostike je kontrola trendov. V nasledujúcej kapitole bude ukážka jednotlivých meraných výsledkov.



Obrázok 22: Kombinovaný trojmesačný trend rýchlosti vibrácií a otáčok motora z ložiska výstupnej hriadeľ jednotky 23A. [Zdroj: autor]

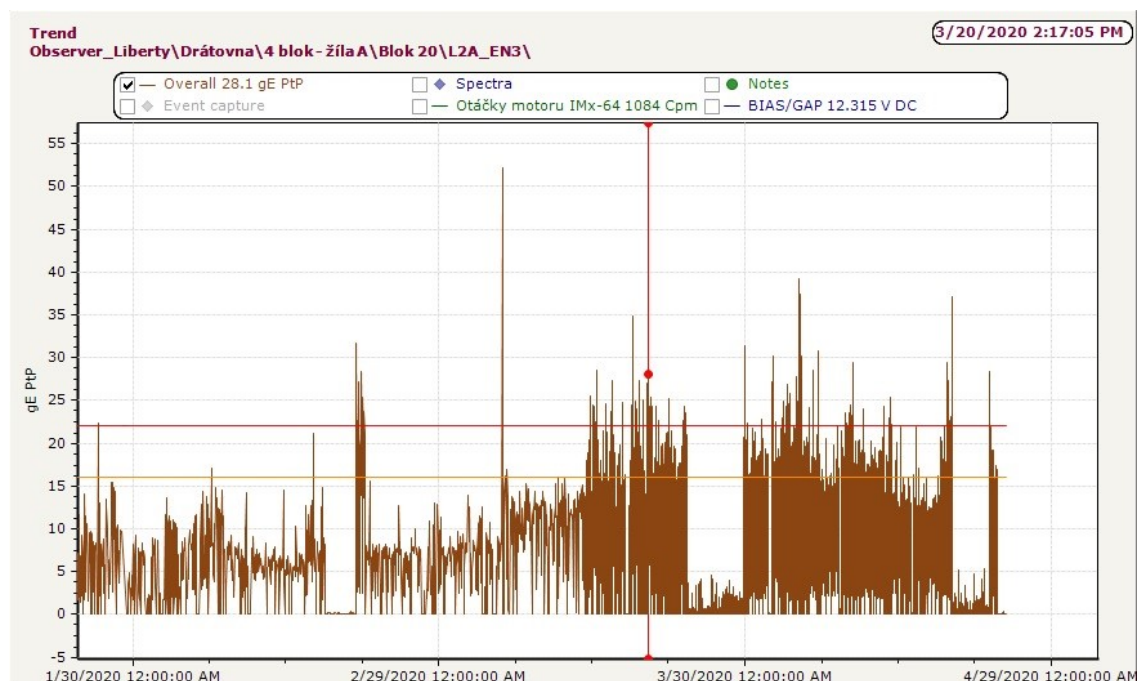
Z trendu na obrázku 22 je vidieť, že vibrácie z predošlého obdobia sú bez výrazných zmien. Občas dochádza k prekračovaniu nastavených alarmových hodnôt a pravdepodobne sa asi bude jednať o vplyv zaťaženi bloku 23A vplyvom zmeny prevalcovaného režimu valcovaného drôtu, ktorý podobným valcovaním a to hlavne pri vstupe a výstupe valcovaného drôtu.



Obrázok 23: Trend hodnôt zrýchlenia z vstupnej hriadele bloku 20A. [Zdroj: autor]

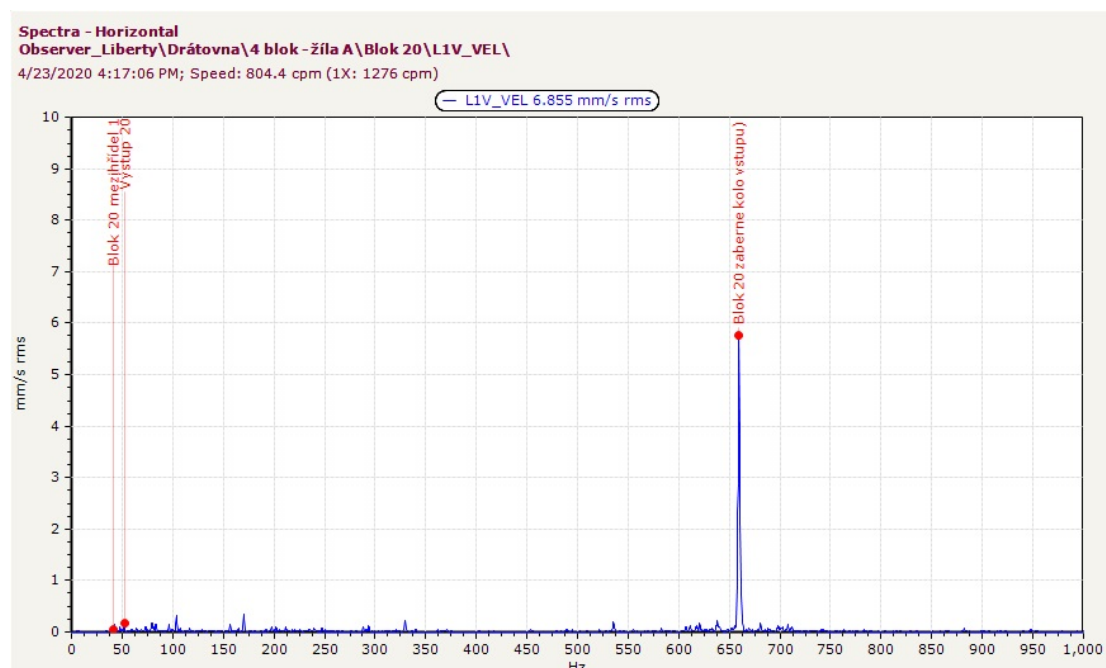
Z trendu na obrázku 23 je vidno nárast hodnôt (zhoršenie chodu ozubenia vplyvom zvýšenia vôle medzi hriadeľom, zatiaľ bez nutnosti zariadenie odstavovať a pristúpiť na výmenu jednotky. Toto je dôležité zistenie pre LO preto, že na základe výsledku môžeme s dostatočným predstihom naplánovať opravu alebo údržbársky zásah a prípadne optimalizovať chod výrobného procesu na úkor predĺženia životnosti strojného zariadenia štvorbloku. Na obrázku 24 je obdobný priebeh trendu, avšak z obálky signálu zrýchlenia, ktorý potvrdzuje náznak poškodenia zvýšenej vôle na výstupnej hriadeľ jednotky 20 A zariadenia štvorbloku.





Obrázok 24: Trend hodnôt obálky signálu zrýchlenia z bloku 20 výstupnej hriadeľi. [Zdroj: autor]

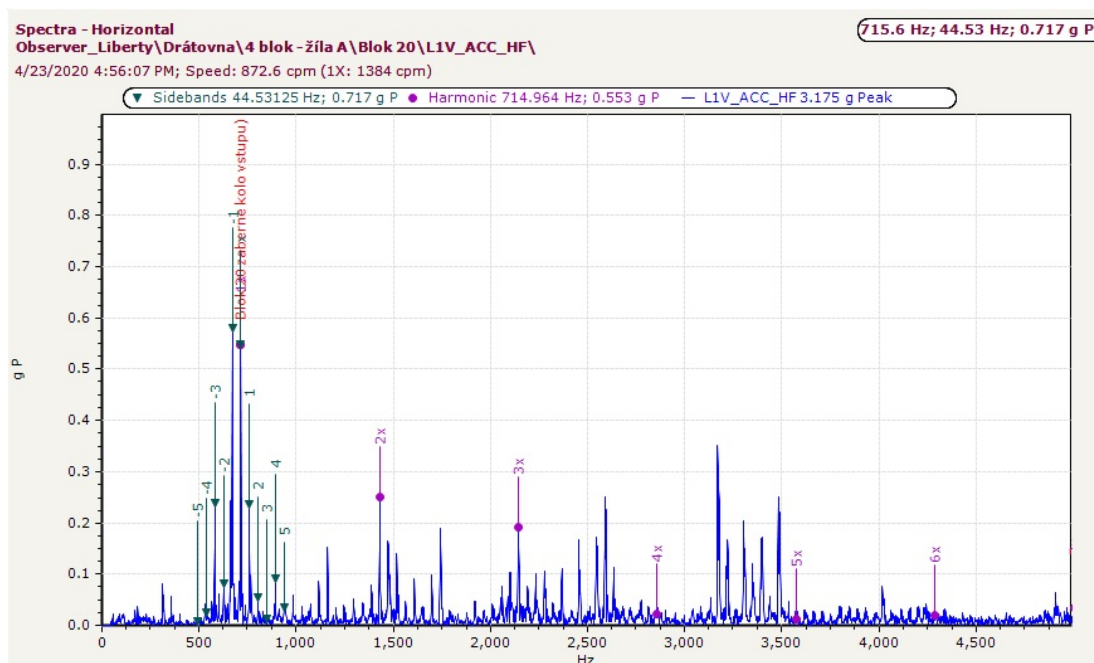
## 5.2 Rozbor spektra frekvencie



Obrázok 25: FFT spektrum rýchlosti vibrácií bloku 20A výstupnej hriadeľi. [Zdroj: autor]

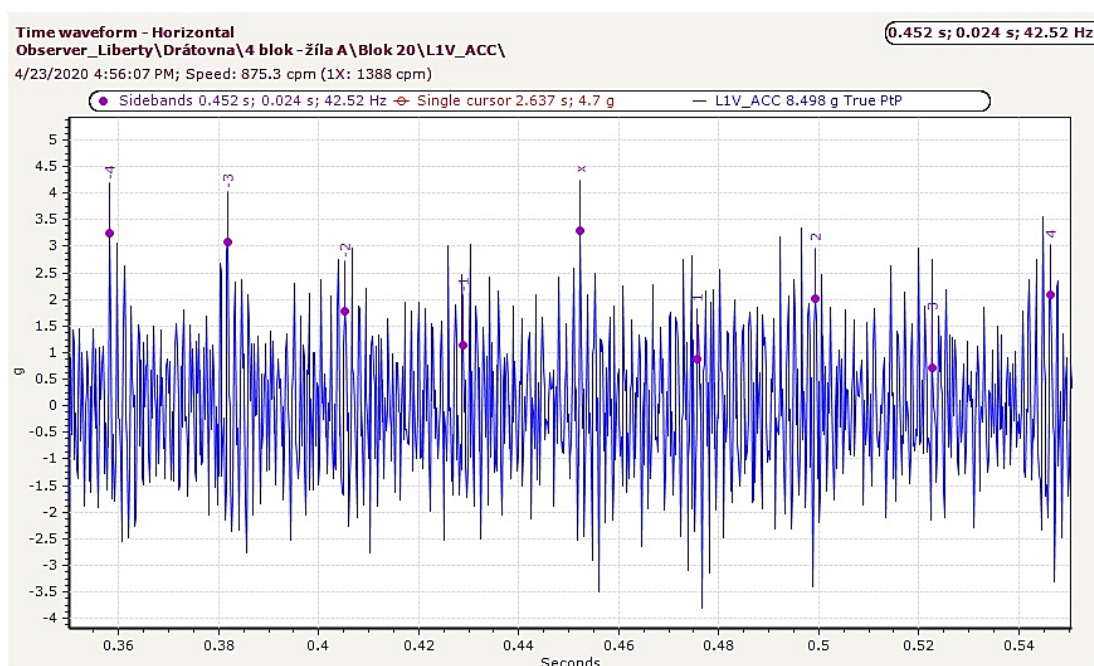
Dominantná špička na frekvencii 659Hz viditeľná na obrázku 25 odpovedá zubovej frekvencie pastorku vstupného kolesa (problém zubovej vôle alebo preťaženie prevodovky). Toto spektrum je vybraté z trendov rýchlosti bloku jednotky 20 A valcovní drôtu KD. Na zubovom sukolí je pravdepodobne zvýšená axiálna vôľa na kúzníkových ložiskách výstupnej hriadeľi. V prípade, že počas odstávky (dekády) je naplánovaná inšpekcia na jednotke z čoho nám ukázal alarm zubovej frekvencie môžeme podložkami nastaviť

axiálny smer vstupnej hriadele a tým pádom sa tiež nastaví zubové vôle šikmého ozubení podľa parametrov výrobcu daného zariadenia.



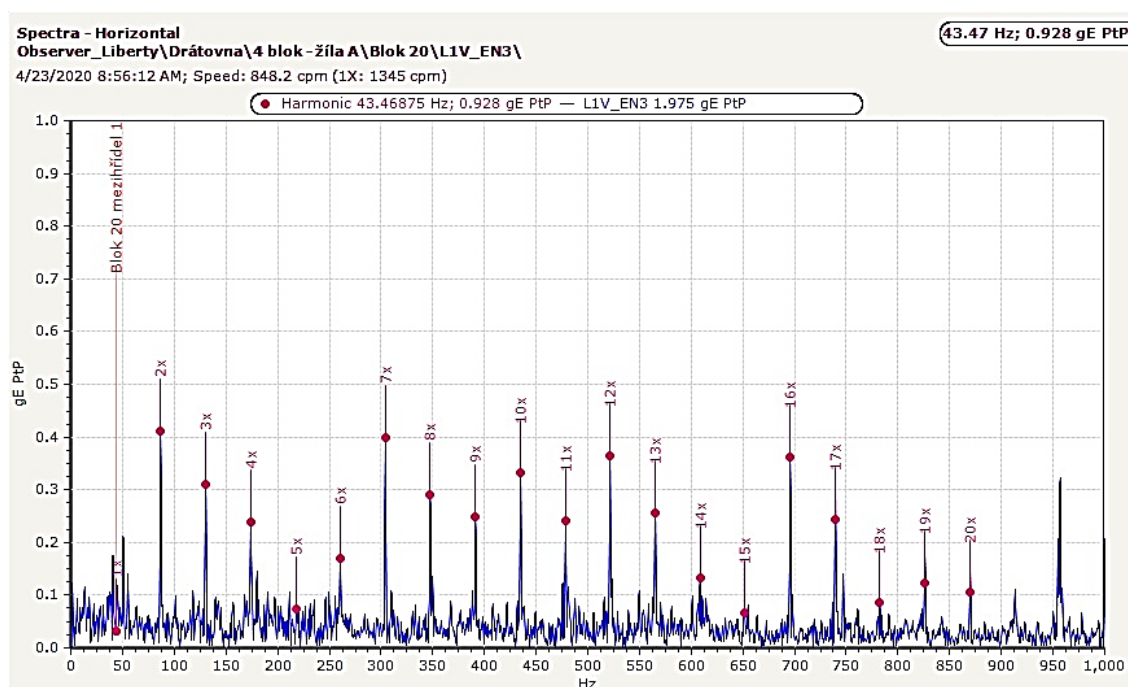
Obrázok 26: FFT spektrum zrýchlenia bloku 20A [Zdroj: autor]

Výrazná špička v spektre nameraných frekvencií z obrázku 26 odpovedá frekvencii 714Hz tj. zubová frekvencia vstupného pastorku, modulovaná frekvencia 44,5Hz – otáčková frekvencia záberového kola. Harmonické násobky zubovej frekvencie odpovedajú dobrému chodu ozubení. Podľa tejto zubovej frekvencie je jasne vidieť dobrý chod zariadenia bez zvýšených vibrácií.



Obrázok 27: Časový záznam zrýchlenia. [Zdroj: autor]

Časový záznam zrýchlenia s opakujúcimi sa frekvenciami 42,5Hz, ktorým odpovedá otáčková frekvencia medzi hriadelom jednotky, vid' obrázok 27.



Obrázok 28: FFT spektrum obálky zrýchlenia výstupnej hriadele jednotky 20A. [Zdroj: autor]

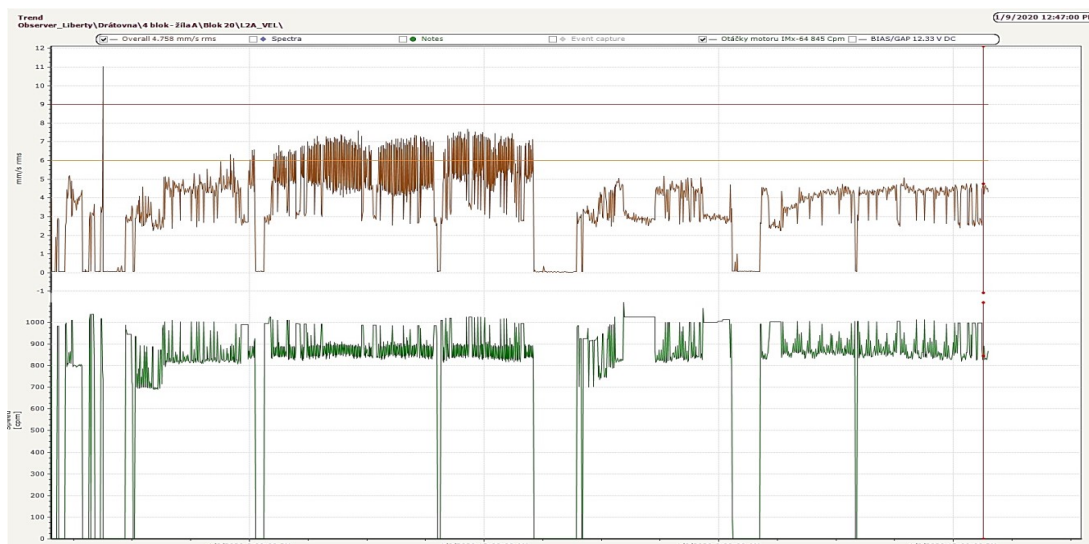
V spektru na obrázku 28 je rada harmonických zložiek frekvencie 43,6Hz, ktorá odpovedá otáčkovej frekvencie medzi hriadelou (hriadel' záberového kola s pastorkom) signalizuje problém s uvoľnením hriadeľi.

### 5.3 Popis vyhodnotenia poruchy, vplyv drôtu, materiálu a rýchlosti na zariadenie

Mimoriadna udalosť hodnotenia stavu jednotky 20 A štvorbloku.

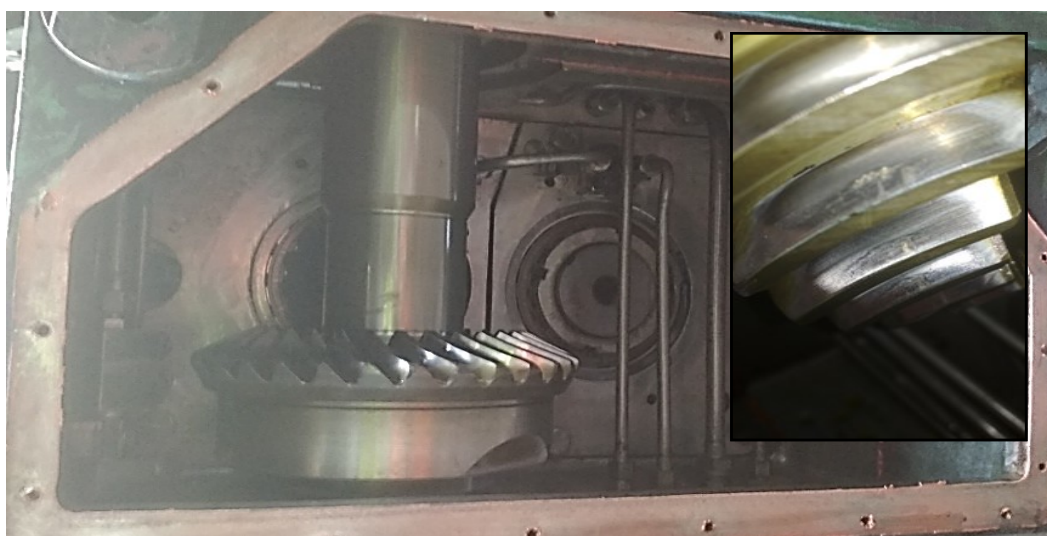
Z nižšie uvedeného obrázku 29 je vidieť, že na hriadeľi pravdepodobne došlo k zmene vôle v uložení a tým aj v zmene v ozubení. Súčasným vplyvom opotrebenia ozubení dochádza aj k excentrickému chodu.

Odporúčenie: celkové hodnoty výrazne nevzrástli, nebude sa jednať pravdepodobne o výrazné poškodenie.



Obrázok 29: Trend rýchlosti vibrácií. [Zdroj: autor]

FFT spektrum zrýchlenia, dominantné špičky na otáčkovej frekvencii medzi hriadeľom jednotky 20A a výrazná zubová frekvencia vstupnej hriadele s postranným pásmom frekvencie 43 Hz (otáčková frekvencia výstupu).



Obrázok 30: Jednotka 20 A, ozubené súkolie. [Zdroj: autor]

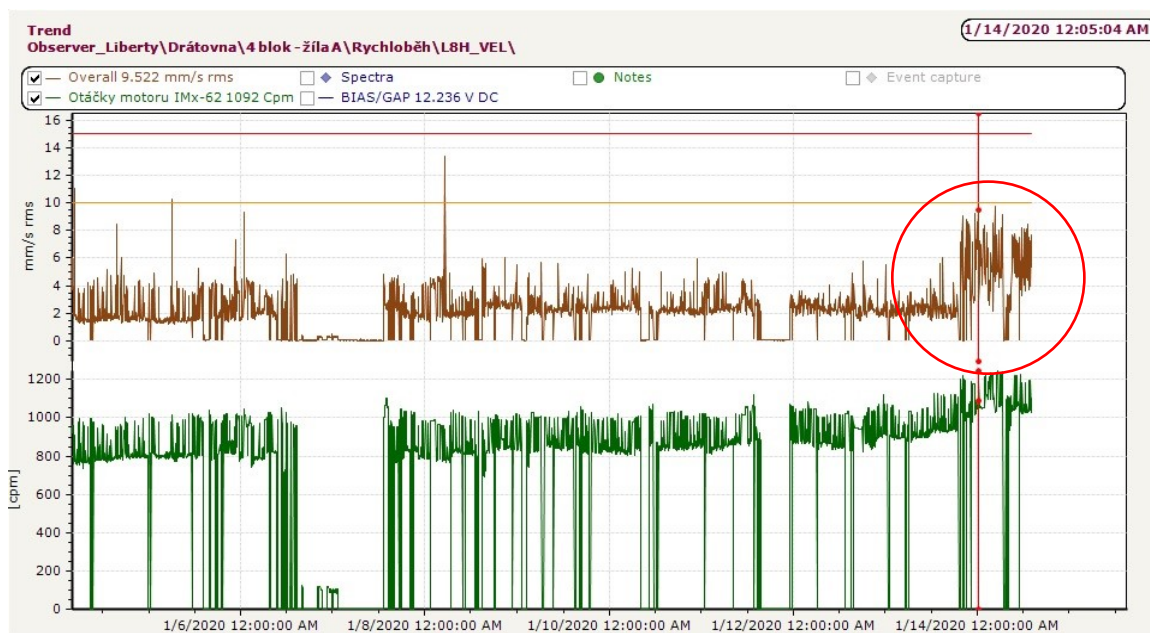
Po informovaní diagnostikovanej jednotky kde boli zvýšene hodnoty na priebežnej hriadeľi bolo po konzultácii s údržbou naplánovaná a vykonaná výmena jednotky 20A. Po výmene jednotky a po spustení zariadenia do chodu sme pristúpili k inšpekcii jednotky. V dielni bloku sa z jednotky demontovali kryty zo spodnej časti kde sa nachádza predlohová hriadeľ s ozubenými kolesami a pastorkom. Vizuálna kontrola nám potvrdila deformácie na pastorku, kde tým pádom bola zvýšená vôľa, viď obrázok 30.

Zjavne sa potvrdilo diagnostikovanie jednotky a tým pádom aj možnosť predísť nepríjemnej a zbytočnej poruche na zariadení.



## 5.4 Popis poruchy, ktorú sme predikovali s pomocou diagnostiky

Mimoriadna udalosť hodnotenia stavu jednotky motoru štvorbloku. Na motore zariadenia štvorbloku FFT spektrum, je ukážka uvoľnenia, detail na obrázku 31. Pravdepodobne sa jedná o nedostatočné mazanie ložiska na hriadelí rotoru. FFT spektrum výstup spodne, vibrácie na otáčkovej zložke. Možný vplyv spojky alebo poprípadne vplyv zaťaženia.



Obrázok 31: Motor FFT spektrum- náznak uvoľnenia. [Zdroj: autor]

Údržba valcovacej trate si naplánovala kontrolu a inšpekciu motora, zubovej spojky v axiálnom smere. Bolo prevedené utiahnutie frémy, domazanie spojky a ložísk motoru štvorbloku. Po týchto úkonoch sa stav motora zlepšil a dal do nominálneho stavu. V grafe je vyznačené uvoľnenie.

## 6 Záver

Projekt, ktorý som navrhoval na zariadení štvorbloku valcovne drôtu je v skúšobnej prevádzke na 3 mesiace. Po skúšobnej prevádzke budeme pokračovať s meraním obidvoch valcovacích žíl. V skúšobnej prevádzke som meraním zistil, že môžeme predísť nepredvídanej poruche, a to tým, že sledujeme správanie točivých častí na zariadení. Pri zvýšení vibrácii nás alarm, ktorý sme si nastavili počas skúšobnej doby upozorní na poruchy ložísk predlohových alebo pastorkových hriadelí a my máme možnosť sa na poruchu včas pripraviť. Na posledných dvoch jednotkách je voľnobežné koleso, ktoré slúži na zvýšenie rýchlosti výstupných hriadelí. V prípade, že praskne ložisková klieť (detail na obrázku v prílohe 4), tak valivé elementy nám môžu vypadnúť a poškodiť rozvodové hriadele alebo ozubené kolesá. Môžeme si vopred pripraviť lešenie, ktoré sa používa pri výmene vrchných jednotiek a v prípade nedostatku pracovníkov môžeme osloviť ľudí, ktorí majú službu a požiadať ich, aby sa dostavili na poruchu. Jednotky sa môžu v dielni blokov nastrojiť a nainštalovať spojky a ostatné príslušenstvo, aby sme skrátili čas výmeny. Pri plánovanej výmene sa môžeme dohodnúť s pracovníkmi výroby a tým pádom môžeme naplánovať mnoho ďalších prác, ktoré sa týkajú aj iných zariadení na valcovni drôtu.

Pred návrhom merania vibrácii boli poruchy na zariadení bez podpory analýzy. Na vzniknuté poruchy sme neboli prediktívne informovaní a pripravení. Z vyššie uvedeného dôvodu trvalo odstránenie porúch dlhší časový rámec s negatívnym dopadom na výrobu. Odstránenie porúch trvalo dlhšie a z ekonomického hľadiska to bolo nepriateľné. Dochádzalo k znižovaniu dostupnosti výrobnej trate a tým pádom k zvýšeniu nákladov na zariadenie a produkcie finálneho výrobku valcovne. Z týchto dôvodov som pristúpil k riešeniu optimalizácie porúch za podpory prediktívnej údržby a to diagnostickým meraním vibrácii na zariadení štvorbloku. Po skúšobnej prevádzke sa mi podarilo za pomoci diagnostiky znížiť hodinový prestoj na ich výmenu a to z 9 hodín na 4 hodiny. Ďalším pozitívnym faktorom je že, včasnou diagnostikou nedochádza k totálnemu poškodeniu prevodových stupňov jednotiek a tým som docielil zníženie nákladov na opravy a zároveň som predĺžil ich životnosť.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] LIBERTY OSTRAVA a.s. *PRŮVODCE NOVÉHO ZAMĚSTNANCE*: Ostrava: Liberty Ostrava a.s., 2019.
- [2] Diagram výroby Arcelor Mittal. *Facebook Liberty Ostrava* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/LibertyOstrava/photos/a.1593195664257379/1958286987748243/?type=3&theater>
- [3] Liberty Ostrava. *Www.libertyostrava.cz* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.libertyostrava.cz/o-spolecnosti/zavody.aspx>
- [4] Žďarské ocelárny a slévárny, národní podnik. *Výkresová dokumentácia štvôr bloku KDT*. Žďar nad Sázavou, 1992.
- [5] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0650-9.
- [6] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost: IV. Provoz a údržba strojů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [7] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost: senzory, metody, analýza signálu*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-707-8883-6.
- [8] TŮMA, Jiří. *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Praha: Sdělovací technika, 1997. ISBN 80-901-9361-7.
- [9] KREIDL, Marcel. *Diagnostické systémy*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2349-4.
- [10] ŠIMEK, Jan. *Vztah výchylky, rychlosti a zrychlení*. [online]. Plzeň: Fakulta aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni, 2020 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/15367769/>
- [11] VOJÁČEK, Antonín. Měření vibrací pro diagnostiku opotřebení strojů: Principy měření a vyhodnocení vibrací [online]. 2015 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diagnostiku-opotrebeni-stroju.html>
- [12] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.
- [13] PETKOVÁ, Viera. *Tribotechnika v teórii a praxi*. Košice: vyd. VIENALA pre TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. ISBN 978-808-1260-575.

- [14] ZIERGLER, Jiří, František HELEBRANT a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost: Díl. I. Tribodiagnostika*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2004. ISBN 80-7078-883-6.
- [15] BENEŠ, Štefan. *Technická diagnostika*. Liberec: Technická Univerzita v Liberci, 2003.
- [16] BENEŠ, Štefan. *Technická diagnostika, Příklady dynamického naladění vyrobených strojů*. Liberec: Technická Univerzita v Liberci, 2004.
- [17] ŽĎAS a.s. *Výkresová dokumentace rekonstrukce KDT*. Žďar nad Sázavou, 1999.
- [18] JENČÍK, Josef. *Technická měření*. Praha: ČVUT Praha. 1981.
- [19] SKF vibration sensors catalog. *Www.skf.com* [online]. 2018 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: [https://www.skf.com/binary/21-267858/11604\\_16-EN-Vibration-Sensor-Catalogue---OK.pdf](https://www.skf.com/binary/21-267858/11604_16-EN-Vibration-Sensor-Catalogue---OK.pdf)
- [20] SKF Multilog On-line System IMx-8. *Www.skf.com* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.skf.com/ca/en/products/condition-monitoring/on-line-systems/surveillance-systems/monitoring-systems/skf-multilog-on-line-system-imx-8/index.html>

## Zoznam obrázkov

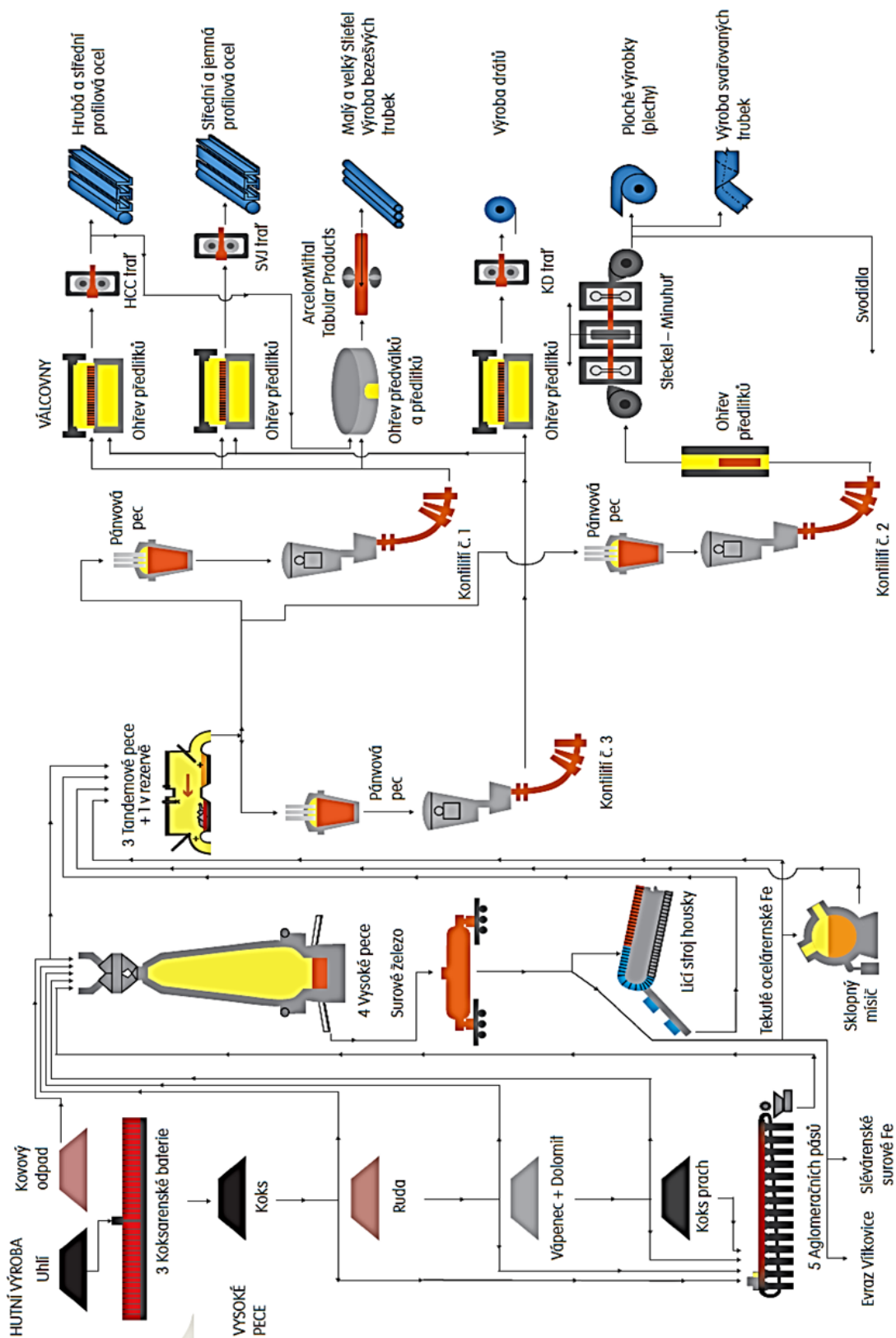
Obrázok 1: Pohľad na zariadenie štvorbloku z prednej strany.[Zdroj: autor] .....	7
Obrázok 2: Pohľad na zariadenie štvorbloku zo zadnej strany. [Zdroj: autor] .....	8
Obrázok 3: Pohľad na zariadenie štvorbloku- pohon( motor). [Zdroj: autor] .....	9
Obrázok 4: Technické parametre motoru. [Zdroj: autor].....	9
Obrázok 5: Prevodovka štvorbloku. [Zdroj: autor].....	11
Obrázok 6: Graf jednotlivých prietokov mazania. [Zdroj: autor] .....	12
Obrázok 7: Schéma olejového systému mazania. [Zdroj: autor] .....	12
Obrázok 8: Vzťah medzi výchylkou, rýchlosťou a zrýchlením. Zdroj [10] .....	17
Obrázok 9: Obmedzenie pri meraní Zdroj [11] .....	18
Obrázok 10: Časový priebeh vibrácií počas technického života -Vaňová krivka. Zdroj [5] .....	20
Obrázok 11: Trendovanie vibrácií. Zdroj [5].....	21
Obrázok 12: Príklad obáľkového spektra vonkajšieho krúžku valivého ložiska. Zdroj [5].	23
Obrázok 13: Umiestnenie zariadenia štvorbloku na valcovni KD. Zdroj: [17] .....	24
Obrázok 14: Detail finálneho zariadenia štvorbloku pre valcovanie drôtu. Zdroj: [17].....	25
Obrázok 15: Rozmiestnenie snímačov na zariadení štvorbloku. [Zdroj: autor] .....	26
Obrázok 16: Snímače pre meranie vibrácií. Zdroj [19] .....	28
Obrázok 17: Zostava dvojzložkového kábla. Zdroj [19] .....	29
Obrázok 18: Obrázky zo systému, kinematická schéma rozmiestnenia snímačov. [Zdroj: autor] .....	31
Obrázok 19: 8-kanálová jednotka IMx-8. [Zdroj: autor] .....	31
Obrázok 20: Snímač CMSS (s citlivosťou 100mV/g). [Zdroj: autor] .....	32
Obrázok 21: Čidlo TURCK Ni12U-M18-AN6X. [Zdroj: autor].....	32
Obrázok 22: Kombinovaný trojmesačný trend rýchlosti vibrácií a otáčok motora z ložiska výstupnej hriadeľ jednotky 23A. [Zdroj: autor] .....	33
Obrázok 23: Trend hodnôt zrýchlenia z vstupnej hriadeľ bloku 20A. [Zdroj: autor] .....	34
Obrázok 24: Trend hodnôt obálky signálu zrýchlenia z bloku 20 výstupnej hriadeľ. [Zdroj: autor] .....	35
Obrázok 25: FFT spektrum rýchlosti vibrácií bloku 20A výstupnej hriadeľ. [Zdroj: autor] .....	35
Obrázok 26: FFT spektrum zrýchlenia bloku 20A [Zdroj: autor] .....	36
Obrázok 27: Časový záznam zrýchlenia. [Zdroj: autor] .....	36

Obrázok 28: FFT spektrum obálky zrýchlenia výstupnej hriadele jednotky 20A. [Zdroj: autor] .....	37
Obrázok 29: Trend rýchlosti vibrácií. [Zdroj: autor] .....	38
Obrázok 30: Jednotka 20 A, ozubené súkolie. [Zdroj: autor] .....	38
Obrázok 31: Motor FFT spektrum- náznak uvoľnenia. [Zdroj: autor] .....	39

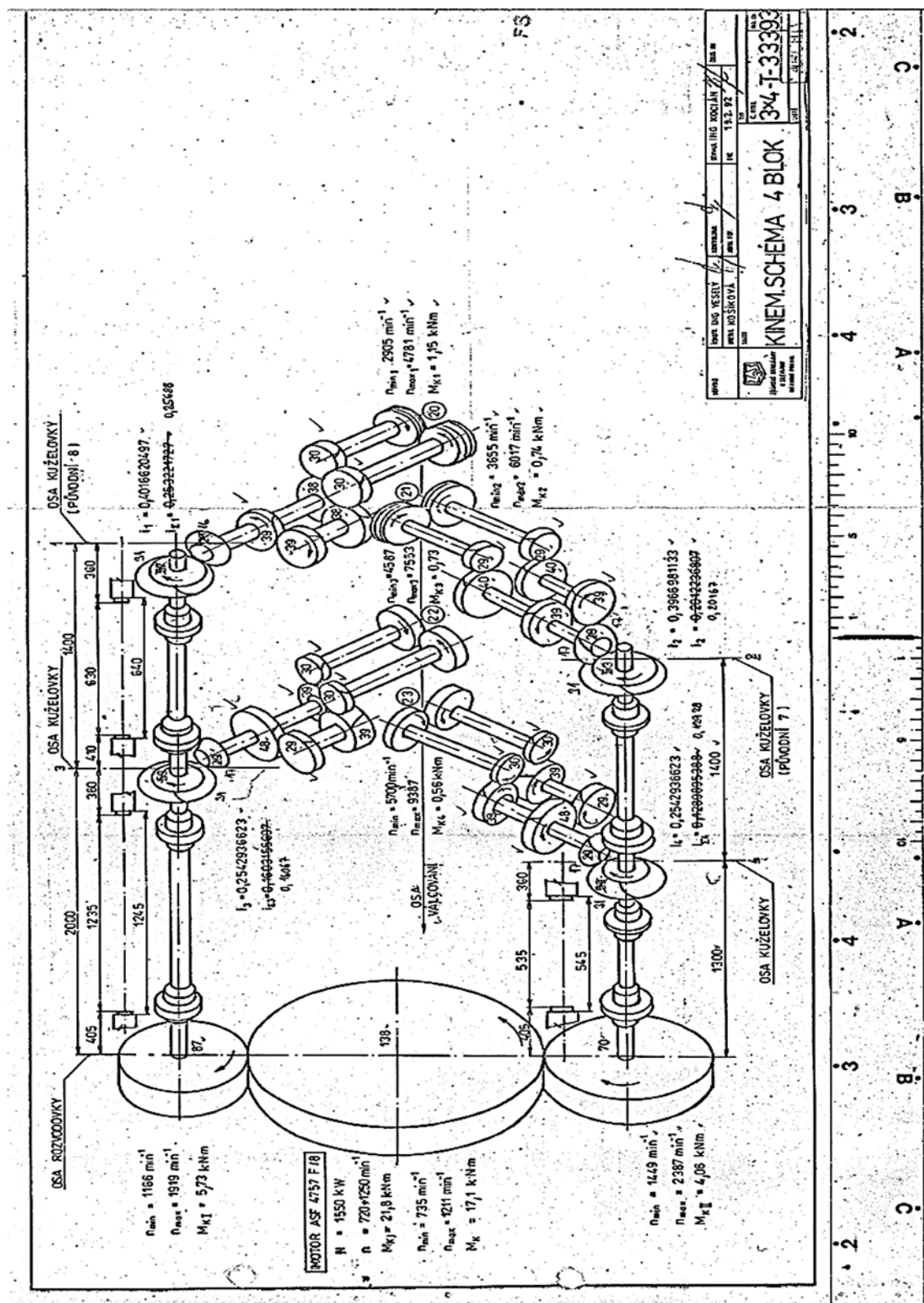
## **Zoznam príloh**

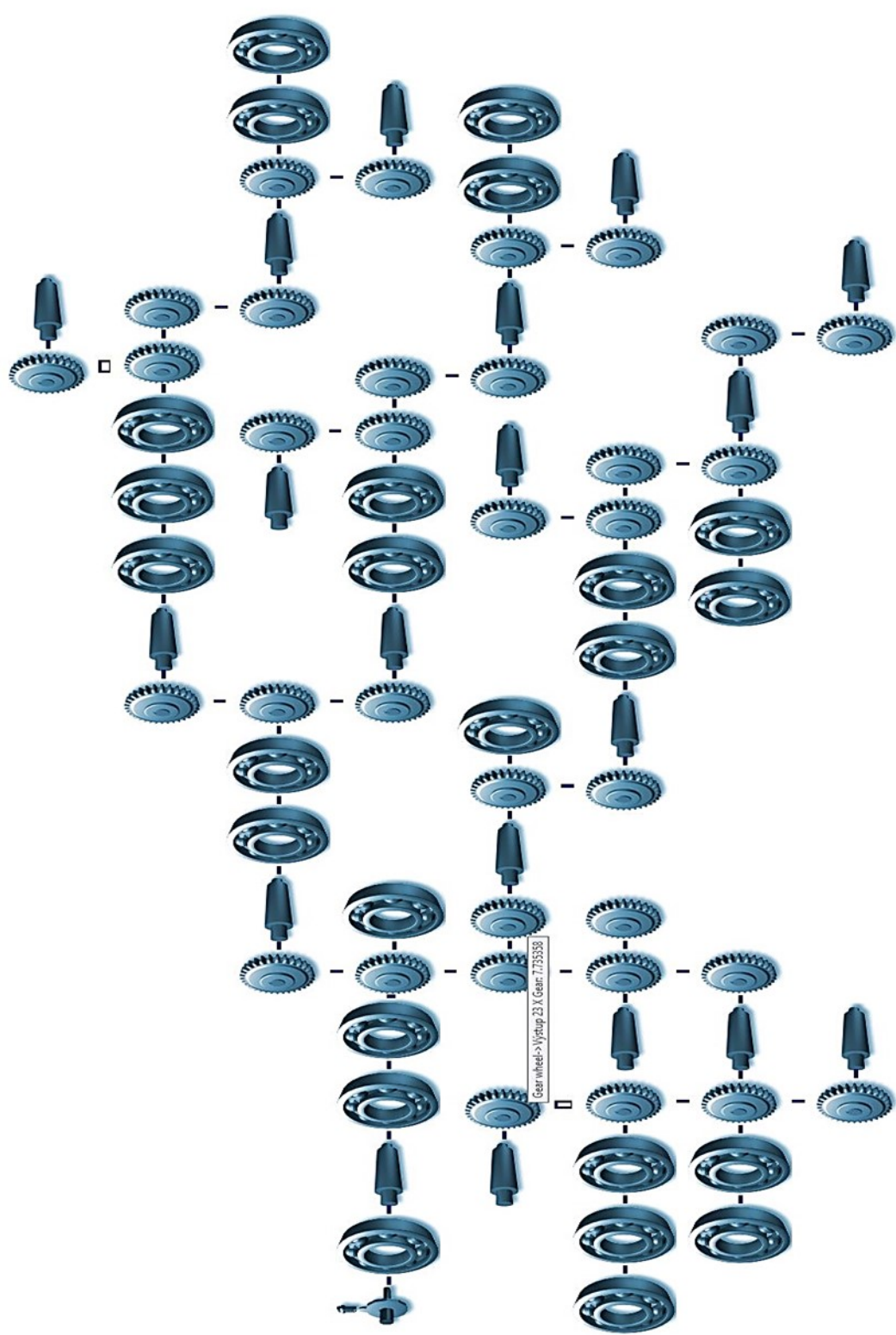
Príloha A: Výrobný proces Liberty Ostrava. Zdroj [2].....	1
Príloha B: Kinematická schéma zariadenia štvorbloku. Zdroj [4].....	2
Príloha C: Kinematická schéma zariadenia. [Zdroj: autor].....	3
Príloha D: Poškodenie kletky valivého ložiska na jednotke štvorbloku. [Zdroj: autor].....	4

## Príloha A: Výrobný proces Liberty Ostrava. Zdroj [2]









Príloha D: Poškodenie kietky valivého ložiska na jednotke štvorbloku. [Zdroj: autor]

